



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - KS141501

**ANALISIS KETERSEDIAAN ENERGI *BIOGAS*
SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK
ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE SISTEM
DINAMIK (STUDI KASUS: PROVINSI JAWA
TIMUR)**

***AVAILABILITY ANALYSIS BIOGAS ENERGY AS
ALTERNATIVE ENERGY POWER PLANT USING
DYNAMIC SYSTEM METHOD (CASE STUDY:
EAST JAVA PROVINCE)***

NANDA PUJI NUGROHO
NRP 5213 100 023

Dosen Pembimbing
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMEN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

TUGAS AKHIR - KS141501

**ANALISIS KETERSEDIAAN ENERGI BIOGAS
SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK
ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE SISTEM
DINAMIK (STUDI KASUS: PROVINSI JAWA
TIMUR)**

**NANDA PUJI NUGROHO
NRP 5213 100 023**

**Dosen Pembimbing
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.**

**JURUSAN SISTEM INFORMASI
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

UNDERGRADUATE THESES - KS141501

***AVAILABILITY ANALYSIS BIOGAS ENERGY AS
ALTERNATIVE ENERGY POWER PLANT USING
DYNAMIC SYSTEM METHOD (CASE STUDY:
EAST JAVA PROVINCE)***

NANDA PUJI NUGROHO

NRP 5213 100 023

Supervisor

Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

INFORMATION SYSTEMS DEPARTMENT

Information Technology Faculty

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS KETERSEDIAAN ENERGI *BIOGAS*
SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK
ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE SISTEM
DINAMIK (STUDI KASUS: PROVINSI JAWA TIMUR)

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada

Jurusan Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NANDA PUJI NUGROHO
NRP. 5213100023

Surabaya, 13 Juli 2017

KETUA

JURUSAN SISTEM INFORMASI



Dr. Ir. Aris Wahyanto, M.Kom
NIP. 196503101991021001

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS KETERSEDIAAN ENERGI *BIOGAS*
SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK
ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE SISTEM
DINAMIK (STUDI KASUS: PROVINSI JAWA TIMUR)

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Jurusan Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NANDA PUJI NUGROHO

NRP. 5213100023

Disetujui Tim Penguji : Tanggal Ujian: 21 Juni 2017
Periode Wisuda : September 2017

Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.



(Pembimbing I)

Arif Wibisono, S.Kom., M.Sc.



(Penguji I)

Andre Parvian Aristio, S.Kom., M.Sc.



(Penguji II)

ANALISIS KETERSEDIAAN ENERGI *BIOGAS* SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK ALTERNATIF MENGGUNAKAN METODE SISTEM DINAMIK (STUDI KASUS: PROVINSI JAWA TIMUR)

Nama Mahasiswa : Nanda Puji Nugroho

NRP : 5213100023

Jurusan : Sistem Informasi FTIF-ITS

Pembimbing I : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Provinsi Jawa Timur dengan luas wilayah 47.963 km² dan memiliki jumlah penduduk sebanyak 38.847.561 jiwa (2015), menjadi provinsi terluas di antara 6 provinsi di Pulau Jawa dan memiliki jumlah penduduk terbanyak kedua di Indonesia setelah Jawa Barat. Hal tersebut membuat Provinsi Jawa Timur menjadi salah satu dari 3 provinsi di Indonesia yang mengkonsumsi jumlah energi listrik terbesar. Mengkonsumsi energi listrik dalam jumlah besar adalah suatu permasalahan yang harus segera di minimalkan, mengingat menipisnya sumber daya pembangkit energi listrik yang dihasilkan dari bahan bakar batubara dan minyak (fosil). Penggunaan energi fosil juga berdampak pula pada persoalan lingkungan, karena sumber pencemaran lingkungan yang menimbulkan efek rumah kaca yang pada akhirnya dapat mengakibatkan global warming, hujan asam, meningkatnya keasaman tanah, dan memicu berbagai penyakit yang mengancam jiwa manusia.

Hal tersebut yang melatar belakangi dilakukannya penelitian menggunakan sistem dinamik untuk menganalisis ketersediaan energi biogas sebagai energi listrik alternatif di Provinsi Jawa

Timur. Energi biogas dipilih sebagai energi listrik alternatif karena memiliki jumlah ketersediaan energi paling banyak di wilayah Jawa Timur dan memiliki harga yang relatif murah untuk dapat di implementasikan sebagai energi terbarukan. Metode yang digunakan adalah Metode Sistem Dinamik yang mampu melibatkan peristiwa sebab akibat dengan mempertimbangkan unsur eksternal maupun internal dan cara yang nonlinear dan dinamis. Aspek yang dilibatkan dalam melakukan penelitian ini adalah aspek teknis, infrastruktur, geografis, sosial, dan ekonomi. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah membantu Pemerintah Provinsi Jawa Timur untuk mengoptimalkan potensi energi terbarukan khususnya biogas sebagai pembangkit energi listrik alternatif dan membantu pencapaian target nasional pada tahun 2025 agar energi alternatif dapat memberi kontribusi 5% dari kebutuhan energi listrik nasional.

Kata kunci : Energi biogas, Energi alternatif, Energi listrik, Jawa timur, Sistem dinamik

**AVAILABILITY ANALYSIS BIOGAS ENERGY AS
ALTERNATIVE ENERGY POWER PLANT USING
DYNAMIC SYSTEM METHOD (CASE STUDY: EAST
JAVA PROVINCE)**

Student Name : Nanda Puji Nugroho
NRP : 5213100023
Major : Information Systems FTIF-ITS
Supervisor I : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

East Java Province with an area of 47,963 km² has a population of 38,847,561 inhabitants (2015), being the largest province among 6 provinces in Java Island and has the second largest population in Indonesia after West Java. This situation makes East Java Province become one of the 3 provinces in Indonesia that consumes the largest amount of electrical energy. Electrical energy consumption in large quantities is a problem that has to be minimized immediately, given the depletion of resources generating electrical energy generated from coal and oil fuel (fossil). The use of fossil energy also affects environmental issues, which becoming the source of environmental pollution that causes the greenhouse effect that can ultimately lead to global warming, acid rain, increased acidity of the soil, and trigger various diseases that threaten the human.

This condition becomes the background of conducting research using a dynamic system to analyze the availability of biogas energy as an alternative electric energy in East Java Province. Biogas energy is chosen as an alternative electric energy because it has the highest amount of energy available in East

Java and has a relatively cheap price to be implemented as a renewable energy. The method that used in this research is a dynamic system method that is able to involve causal events by considering external and internal elements in nonlinear and dynamic ways. Aspects involved in conducting this research are technical, infrastructure, geographical, social, and economic aspects. The expected result of this research is to assist East Java Provincial Government to optimize renewable energy potency especially biogas as alternative energy generator and help to achieve national target by 2025 so that alternative energy can contribute 5% from national electrical energy requirement.

Keywords : *Biogas energy, Alternative energy, Electrical energy, East Java, Dynamic system*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberi kekuatan dan hikmat sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul

“Analisis Ketersediaan Energi *Biogas* sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif Menggunakan Metode Sistem Dinamik (Studi Kasus: Provinsi Jawa Timur)”.

Skripsi ini merupakan tugas akhir akademik sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan berkah dan rahmat-Nya selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing penulis menuju jalan yang dirahmati Allah SWT.
3. Bapak Ir. Aris Tjahyanto, M.Kom. selaku Ketua Jurusan Sistem Informasi ITS Surabaya.
4. Ibu Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah memberikan banyak pengetahuan dan pemahaman baru bagi penulis.
5. Bapak Arif Djunaidy, Ir., M.Sc., Ph.D., Prof. selaku dosen wali penulis yang memberikan motivasi sehingga penulis terus mengusahakan yang terbaik selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Bapak tercinta yang telah mengajarkan hal berharga dan menjadi inspirasi serta motivasi penulis untuk selalu memberikan yang terbaik dalam Tugas Akhir ini.

7. Ibu tercinta yang selalu menjadi semangat bagi penulis untuk melakukan yang terbaik.
8. Saudara dan kerabat tercinta yang senantiasa mendoakan kelancaran serta kesuksesan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
9. Dinas Energi Sumber Daya dan Mineral Provinsi Jawa Timur yang telah membantu dalam pemberian data dalam mendukung pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Teman – teman “MAFIA” yang telah memberikan banyak pengalaman, cerita, dan kenangan selama penulis melakukan penelitian dan di waktu-waktu lainnya.
11. Aditya Naufal dan Yusuf Fauzan yang telah menyediakan tempat berkumpul, bermain, belajar, dan tempat tidur sehingga telah menjadi rumah ketiga bagi penulis setelah rumah dan kos-kosan.
12. Kawan – Kawan Lab Sistem Enterprise (SE) yang menjadi rekan senasib dan seperjuangan.
13. Penghuni Lab ADDI yang telah mempersilakan penulis bernaung dan mencari inspirasi dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
14. Seluruh teman – teman, Keluarga Beltranis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dan memberikan banyak cerita selama penulis melakukan studi.
15. Mas dan Mbak serta adik – adik jurusan Sistem Informasi yang dan seluruh *civitas akademika* Jurusan Sistem Informasi ITS dan seluruh pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dan telah memberikan dukungan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi orang yang membaca, bagi penelitian dan pengembangan aplikasi di masa depan. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan

karena kesempurnaan sejatinya hanya milik Allah SWT, maka saran dan kritik yang konstruktif dari semua pihak sangat diharapkan demi perbaikan selanjutnya.

Surabaya, 01 Juni 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	ii
Lembar Persetujuan.....	iv
Abstrak	v
Abstract	vii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi.....	xiii
Daftar Gambar.....	xvii
Daftar Tabel	xxi
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penulisan	5
1.6 Relevansi	6
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	7
2.1 Penelitian Sebelumnya	7
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Energi Terbarukan.....	9
2.2.2 Simulasi.....	12
2.2.3 Model Simulasi	14
2.2.4 Sistem Dinamik	15
2.2.5 Causal Loop Diagram.....	18
2.2.6 Energi Biogas sebagai Pembangkit Listrik	19

2.2.7	Perhitungan Ekonomi PLTBG.....	30
2.2.8	Kapasitas Pembangkit Terpasang di Provinsi Jawa Timur	34
Bab 3	Metodologi Penelitian	37
3.1	Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir.....	38
3.1.1	Identifikasi Kondisi dan Permasalahan	38
3.1.2	Studi Literatur.....	38
3.1.3	Pengumpulan Data.....	38
3.1.4	Identifikasi Variabel	39
3.1.5	Causal Loop Diagram.....	39
3.1.6	Stock Flow Diagram.....	40
3.1.7	Pengujian Model.....	40
3.1.8	Skenariosasi	41
3.1.9	Analisis Hasil.....	42
3.1.10	Kesimpulan dan Saran	42
Bab 4	Perancangan	43
4.1	Pengumpulan Data.....	43
4.1.1	Data Kondisi Teknis	44
4.1.2	Data Kondisi Infrastruktur	45
4.1.3	Data Kondisi Geografis	46
4.1.4	Data Kondisi Ekonomi	48
4.2	Identifikasi Variabel	53
4.2.1	Identifikasi Variabel Aspek Teknis	54
4.2.2	Identifikasi Variabel Aspek Infrastruktur.....	54
4.2.3	Identifikasi Variabel Aspek Geografis	55
4.2.4	Identifikasi Variabel Aspek Sosial	56
4.2.5	Identifikasi Variabel Aspek Ekonomi	56
4.3	Causal Loop Diagram	57
4.3.1	Causal Loop Diagram Secara Umum	58
4.3.2	Causal Loop Diagram Aspek Teknis.....	59
4.3.3	Causal Loop Diagram Aspek Infrastruktur.....	59
4.3.4	Causal Loop Diagram Aspek Geografis	60

4.3.5	Causal Loop Diagram Aspek Sosial.....	60
4.3.6	Causal Loop Diagram Aspek Ekonomi.....	61
4.3.7	Causal Loop Diagram Secara Keseluruhan....	62
4.4	Stock Flows Diagram	63
4.4.1	Stock Flows Diagram Potensi yang Telah Layak 65	
4.4.2	Stock Flows Diagram Kelayakan Sumber Daya Manusia	84
4.4.3	Stock Flows Diagram Kelayakan Infrastruktur 88	
4.4.4	Stock Flows Diagram Kelayakan Geografis ..	94
4.4.5	Stock Flows Diagram Kelayakan Ekonomi .	106
4.5	Analisis Model Kondisi Eksisting (Base Model)	123
4.5.1	Analisis Kelayakan Infrastruktur.....	123
4.5.2	Analisis Kelayakan Geografis	124
4.5.3	Analisis Kelayakan Ekonomi	125
4.5.4	Analisis Probabilitas Kesuksesan Penemuan	126
4.5.5	Analisis Kelayakan Sumber Daya Manusia .	127
4.5.6	Analisis Probabilitas Studi Kelayakan	128
4.5.7	Analisis Potensi yang Telah Layak	129
4.6	Uji Validasi	129
4.6.1	Suku Bunga	130
4.6.2	Suhu Udara.....	131
4.6.3	Curah Hujan	132
Bab 5	pembentukan skenario dan analisis hasil	135
5.1	Pengembangan Skenario	135
5.1.1	Skenario Peningkatan Kelayakan Infrastruktur 136	
5.1.2	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi .	137
5.2	Analisis Hasil	141
BAB 6	kesimpulan dan saran	145

6.1 Kesimpulan.....	145
6.2 Saran	146
Daftar Pustaka	149
LAMPIRAN A	155
LAMPIRAN B.....	161
LAMPIRAN C.....	165
Biodata Penulis	175

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mempelajari sebuah sistem [13].....	13
Gambar 2.2 Stock and flow diagram [15].....	16
Gambar 2.3 Contoh causal loop diagram	19
Gambar 2.4 Floating dome digester [21]	23
Gambar 2.5 Fixed dome digester [22].....	23
Gambar 2.6 Bagan sistem instalasi pembangkit listrik dari biogas [18].....	26
Gambar 2.7 Grafik performa pada mesin [18]	27
Gambar 2.8 Diagram performa mesin bensin dengan bahan bakar bensin dan biogas 1) daya, 2) torsi, 3) konsumsi bahan bakar spesifik [18].....	28
Gambar 2.9 Skema pemasangan mixer dan conversion kit pada mesin diesel [18]	30
Gambar 3.1 Metodologi penelitian.....	37
Gambar 3.2 Diagram causal loop sistem secara umum.....	40
Gambar 4.1 Causal loop diagram sistem secara umum.....	58
Gambar 4.2 Causal loop diagram aspek teknis	59
Gambar 4.3 Causal loop diagram aspek infrastruktur	60
Gambar 4.4 Causal loop diagram aspek geografis	60
Gambar 4.5 Causal loop diagram aspek sosial	61
Gambar 4.6 Causal loop diagram aspek ekonomi	62
Gambar 4.7 Causal loop diagram secara keseluruhan.....	63
Gambar 4.8 Stock flows diagram potensi yang telah layak ...	66
Gambar 4.9 Stock flows diagram kelayakan biodigester	73
Gambar 4.10 Stock flows diagram pemilihan bahan organik	78
Gambar 4.11 Stock flows diagram kelayakan sumber daya manusia	85
Gambar 4.12 Stock flows diagram kelayakan infrastruktur ...	88
Gambar 4.13 Stock flows diagram kemudahan akses	89
Gambar 4.14 Stock flows diagram ketersediaan alat transportasi	91

Gambar 4.15 Stock flows diagram kelayakan geografis	94
Gambar 4.16 Stock flows diagram persentase kondisi ketinggian	96
Gambar 4.17 Stock flows diagram kondisi cuaca	99
Gambar 4.18 Stock flows diagram kelayakan ekonomi	106
Gambar 4.19 Stock flows diagram kondisi moneter	107
Gambar 4.20 Stock Flows Diagram persentase laju inflasi ..	109
Gambar 4.21 Stock Flows Diagram persentase tingkat suku bunga	111
Gambar 4.22 Stock flows diagram persentase payback period	114
Gambar 4.23 Hasil base model kelayakan infrastruktur	123
Gambar 4.24 Hasil base model kelayakan geografis	124
Gambar 4.25 Hasil base model kelayakan ekonomi	125
Gambar 4.26 Hasil base model probabilitas kesuksesan penemuan	126
Gambar 4.27 Hasil base model kelayakan sumber daya manusia	127
Gambar 4.28 Hasil base model probabilitas studi kelayakan	128
Gambar 4.29 Hasil base model potensi yang telah layak	129
Gambar 4.30 Grafik perbandingan data suku bunga	130
Gambar 4.31 Grafik perbandingan data suhu udara	131
Gambar 4.32 Grafik perbandingan data curah hujan	132
Gambar 5.1 Grafik perbandingan pembangkitan acak jumlah kendaraan pengangkut	136
Gambar 5.2 Grafik perbandingan kelayakan infrastruktur ...	137
Gambar 5.3 Grafik perbandingan ketersediaan energi biogas di Jatim	138
Gambar 5.4 Grafik perbandingan nilai investasi PLTBG	139
Gambar 5.5 Grafik perbandingan proceed per tahun	139
Gambar 5.6 Grafik perbandingan payback period	140

Gambar 5.7 Grafik perbandingan kelayakan ekonomi.....	141
Gambar 5.8 Grafik perbandingan probabilitas studi kelayakan	142

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian sebelumnya.....	7
Tabel 2.2 Daya listrik yang dapat dihasilkan dari peternakan sedang dan besar	31
Tabel 2.3 Perkiraan biaya investasi PLTBG pada peternakan sedang dan besar	31
Tabel 2.4 Perkiraan biaya operasi PLTBG pada peternakan sedang dan besar	32
Tabel 2.5 Kapasitas pembangkit terpasang	35
Tabel 4.1 Ketersediaan Energi Biogas di Provinsi Jawa Timur [24]	44
Tabel 4.2 Panjang Jalan di Provinsi Jawa Timur [25]	45
Tabel 4.3 Jumlah Kendaraan Pengangkut Alat Berat di Provinsi Jawa Timur [25]	45
Tabel 4.4 Rata-rata curah hujan di Provinsi Jawa Timur [26]	46
Tabel 4.5 Rata-rata suhu udara di Provinsi Jawa Timur [26].	47
Tabel 4.6 Rata-rata kecepatan angin di Provinsi Jawa Timur [26]	48
Tabel 4.7 Rata-rata harga jual listrik [28]	49
Tabel 4.8 Ketersediaan energi biogas di Provinsi Jawa Timur	50
Tabel 4.9 Laju inflasi di per tahun [29]	51
Tabel 4.10 Rata-rata suku bunga per tahun [30]	52
Tabel 4.11 Variabel kesuksesan proyek pembangkit listrik energi biogas	53
Tabel 4.12 Variabel Aspek Teknik	54
Tabel 4. 13 Variabel Aspek Infrastruktur.....	55
Tabel 4.14 Variabel Aspek Geografis	55
Tabel 4.15 Variabel Aspek Sosial	56
Tabel 4.16 Variabel Aspek Ekonomi	57
Tabel 4.17 Time Bounds pada Model	64
Tabel 4.18 Penjelasan beberapa fungsi pada ekuasi model....	65

Tabel 4.19 Auxiliary potensi yang telah layak	66
Tabel 4.20 Auxiliary keputusan dukungan masyarakat.....	67
Tabel 4.21 Auxiliary keputusan studi kelayakan.....	68
Tabel 4.22 Auxiliary probabilitas studi kelayakan	68
Tabel 4.23 Auxiliary potensi yang telah terbukti	69
Tabel 4.24 Auxiliary potensi terduga	70
Tabel 4.25 Auxiliary keputusan lelang.....	70
Tabel 4.26 Auxiliary probabilitas keputusan lelang	71
Tabel 4.27 Auxiliary keputusan kesuksesan penemuan	71
Tabel 4.28 Auxiliary probabilitas kesuksesan penemuan.....	72
Tabel 4.29 Auxiliary kelayakan biodigester	73
Tabel 4.30 Auxiliary persentase kondisi suhu	74
Tabel 4.31 Auxiliary kondisi suhu	75
Tabel 4.32 Data kondisi suhu	75
Tabel 4.33 Auxiliary persentase kondisi keasaman.....	76
Tabel 4.34 Auxiliary kondisi keasaman	77
Tabel 4.35 Data kondisi keasaman	77
Tabel 4.36 Auxiliary pemilihan bahan organik	78
Tabel 4.37 Auxiliary persentase rasio C/N.....	79
Tabel 4.38 Auxiliary rasio C/N	80
Tabel 4.39 Data rasio C/N	80
Tabel 4.40 Auxiliary persentase kandungan padatan total (TS)	81
Tabel 4.41 Auxiliary kandungan padatan total (TS)	82
Tabel 4.42 Data kandungan padatan total (TS)	82
Tabel 4.43 Auxiliary persentase kandungan padatan volatil (VS)	83
Tabel 4.44 Auxiliary kandungan padatan volatil (VS).....	84
Tabel 4.45 Data kandungan padatan volatil (VS).....	84
Tabel 4.46 Auxiliary kelayakan sumber daya manusia	85
Tabel 4.47 Level jumlah ketersediaan tenaga profesional.....	86

Tabel 4.48 Rate perkembangan jumlah ketersediaan tenaga profesional.....	86
Tabel 4.49 Auxiliary kebutuhan tenaga profesional	87
Tabel 4.50 Auxiliary kelayakan infrastruktur	88
Tabel 4.51 Auxiliary kemudahan akses	89
Tabel 4.52 Auxiliary rasio jalan.....	90
Tabel 4.53 Perkembangan panjang jalan.....	90
Tabel 4.54 Rate perkembangan panjang jalan.....	91
Tabel 4.55 Auxiliary pembangkitan acak jumlah kendaraan pengangkut	92
Tabel 4.56 Data kendaraan pengangkut	93
Tabel 4.57 Auxiliary jumlah kebutuhan kendaraan pengangkut	93
Tabel 4.58 Auxiliary kelayakan geografis	94
Tabel 4.59 Auxiliary persentase kondisi ketinggian	96
Tabel 4.60 Auxiliary pembangkitan acak ketinggian wilayah jatim.....	97
Tabel 4.61 Data ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur	98
Tabel 4.62 Auxiliary kondisi cuaca.....	99
Tabel 4.63 Auxiliary kondisi curah hujan.....	100
Tabel 4.64 Auxiliary kondisi suhu udara	101
Tabel 4.65 Auxiliary kondisi kecepatan angin.....	102
Tabel 4.66 Auxiliary pembangkitan acak curah hujan.....	103
Tabel 4.67 Data curah hujan	104
Tabel 4.68 Auxiliary pembangkitan acak suhu udara	104
Tabel 4.69 Data suhu udara.....	105
Tabel 4.70 Auxiliary pembangkitan acak kecepatan angin..	105
Tabel 4.71 Data kecepatan angin	106
Tabel 4.72 Auxiliary kelayakan ekonomi	106
Tabel 4.73 Auxiliary kondisi moneter.....	107
Tabel 4.74 Auxiliary persentase laju inflasi	109
Tabel 4.75 Auxiliary pembangkitan acak laju inflasi.....	110

Tabel 4.76 Data Laju Inflasi	110
Tabel 4.77 Auxiliary persentase tingkat suku bunga.....	112
Tabel 4.78 Auxiliary pembangkitan acak suku bunga.....	112
Tabel 4.79 Data suku bunga	113
Tabel 4.80 Auxiliary persentase payback period.....	114
Tabel 4.81 Auxiliary payback period	115
Tabel 4.82 Auxiliary proceed per tahun	115
Tabel 4.83 Auxiliary harga jual listrik.....	116
Tabel 4.84 Data harga jual listrik	116
Tabel 4.85 Auxiliary potensi energi per tahun	117
Tabel 4.86 Auxiliary kapasitas pembangkit listrik energi biogas	118
Tabel 4.87 Auxiliary nilai investasi PLTBG	119
Tabel 4.88 Auxiliary jumlah PLTBG yang dibutuhkan	120
Tabel 4.89 Auxiliary ketersediaan energi biogas di jatim	121
Tabel 4.90 Auxiliary jumlah sapi di jatim	122
Tabel 4.91 Data jumlah sapi di jatim.....	123
Tabel 4.92 Validasi data suku bunga.....	130
Tabel 4.93 Validasi data suhu udara.....	131
Tabel 4.94 Validasi data curah hujan	133
Tabel 5.1 Data skenario peningkatan kelayakan infrastruktur	136
Tabel 5.2 Perbandingan hasil skenario	142
Tabel A.1 Data base model kelayakan infrastruktur	155
Tabel A.2 Data base model kelayakan geografis.....	156
Tabel A.3 Data base model kelayakan ekonomi	156
Tabel A.4 Data base model probabilitas.....	157
Tabel A.5 Data base model kelayakan sumber daya manusia	158
Tabel A.6 Data base model probabilitas studi kelayakan.....	159
Tabel A.7 Data base model potensi yang telah layak	159
Tabel B.1 Data uji validasi pembangkitan acak suku bunga	161

Tabel B.2 Data uji validasi pembangkitan acak suhu udara.	161
Tabel B.3 Data uji validasi pembangkitan acak curah hujan	162
Tabel C.1 Data perbandingan pembangkitan acak jumlah kendaraan pengangkut.....	165
Tabel C.2 Data perbandingan kelayakan infrastruktur.....	166
Tabel C.3 Data perbandingan ketersediaan energi biogas di Jatim	167
Tabel C.4 Data perbandingan nilai investasi PLTBG	168
Tabel C.5 Data perbandingan proceed per tahun	169
Tabel C.6 Data perbandingan payback period	171
Tabel C.7 Data perbandingan kelayakan ekonomi.....	172

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan beberapa hal mendasar pada penulisan tugas akhir ini. Hal - hal yang mendasar meliputi latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, dan manfaat serta relevansi dari tugas akhir ini. Dari uraian tersebut diharapkan gambaran umum permasalahan dan pemecahan tugas akhir ini dapat dipahami.

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan primer yang tidak bisa di lepaskan dari kebutuhan hidup manusia. Hampir semua aspek kehidupan memerlukan energi listrik sebagai penggerak utama. Provinsi Jawa Timur dengan luas wilayah 47.963 km² dan memiliki jumlah penduduk sebanyak 38.847.561 jiwa (2015), menjadi provinsi terluas di antara 6 provinsi di Pulau Jawa dan memiliki jumlah penduduk terbanyak kedua di Indonesia setelah Jawa Barat [1]. Hal tersebut membuat Provinsi Jawa Timur menjadi salah satu dari 3 provinsi di Indonesia yang mengkonsumsi jumlah energi listrik terbesar, jumlah konsumsi energi listrik di Provinsi Jawa Timur pada tahun 2014 mencapai 31.360 GWh, dimana sebesar 11.592 GWh dikonsumsi oleh rumah tangga, 14.057 GWh oleh industri, 4.014 GWh oleh usaha, dan 1.697 GWh oleh publik [2]. Jumlah tersebut menjadi jumlah terbesar ketiga setelah Provinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta yang menduduki peringkat satu dan dua.

Mengkonsumsi energi listrik dalam jumlah besar adalah suatu permasalahan yang harus segera di minimalkan, mengingat menipisnya sumber daya pembangkit energi listrik yang dihasilkan dari bahan bakar batubara dan minyak (fosil). Penggunaan energi fosil juga berdampak pula pada persoalan

lingkungan, karena sumber pencemaran lingkungan yang menimbulkan efek rumah kaca yang pada akhirnya dapat mengakibatkan *global warming*, hujan asam, meningkatnya keasaman tanah, dan memicu berbagai penyakit yang mengancam jiwa manusia [3].

Memproduksi energi terbarukan dapat menjadi solusi untuk mengurangi konsumsi terhadap energi yang tidak dapat diperbaharui. Provinsi Jawa Timur sebagai salah satu konsumen energi listrik terbesar di Indonesia memiliki potensi besar dalam memproduksi energi terbarukan, dimana potensi energi terbarukan yang ada di Provinsi Jawa Timur adalah energi *biogas* (390.456,12 MW), energi angin (165.008,43 MW), energi gelombang (145.058,1 MW), energi air (38.244,69 MW), energi biomasa (31.918,31 MW), energi surya (24.955,05 MW), dan energi panas bumi (1.206 MW) [4]. Keberadaan potensi tersebut belum dapat di optimalkan oleh Pemerintah Provinsi Jawa Timur karena tiga hal, yaitu teknologi, pendanaan, dan lokasi ketersediaan energi terbarukan tersebut yang belum dapat di ketahui secara pasti [5]. Padahal diharapkan pada tahun 2025 nanti, energi alternatif ini dapat memberi kontribusi 5% dari kebutuhan energi listrik nasional [4]. Harapan itu didukung dengan munculnya Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak [6]. Serta munculnya Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 74 Tahun 2010 yang mengatur tentang kebijakan pengembangan sumber energi alternatif tertentu di Jawa Timur [7].

Beberapa penelitian terkait ketersediaan energi listrik dan energi terbarukan sebenarnya sudah pernah dilakukan seperti

“Kajian Potensi Energi Panas Bumi sebagai Alternatif Pembangkit Energi Listrik Terbarukan: Sebuah Framework Sistem Dinamik” [8], dan “Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus: Jawa Timur)” [9]. Penelitian tersebut memiliki kesamaan pada penggunaan metode, yaitu Metode Sistem Dinamik. Terdapat pula beberapa perbedaan yang saling melengkapi satu penelitian dengan penelitian lainnya. Seperti perbedaan objek penelitian yang membuat potensi energi terbarukan yang tersedia berbeda, serta perbedaan metodologi yang digunakan. Serta terdapat pula kekurangan pada penelitian tersebut, seperti kurangnya inovasi untuk menciptakan energi terbarukan yang tepat guna sesuai dengan objek penelitian yang digunakan.

Hal tersebut yang melatar belakangi dilakukannya penelitian menggunakan sistem dinamik untuk menganalisis ketersediaan energi *biogas* sebagai energi listrik alternatif di Provinsi Jawa Timur. Energi *biogas* dipilih sebagai energi listrik alternatif karena memiliki jumlah ketersediaan energi paling banyak di wilayah Jawa Timur dan memiliki harga yang relatif murah untuk dapat di implementasikan sebagai energi terbarukan. Sistem pengembangan energi *biogas* memiliki komponen yang sangat kompleks. Untuk itu digunakan metode pemodelan dan simulasi menggunakan Metode Sistem Dinamik yang mampu melibatkan peristiwa sebab akibat dengan mempertimbangkan unsur eksternal maupun internal dan cara yang nonlinear dan dinamis [10]. Dengan menggunakan metode pemodelan dan simulasi, analisis bisa dilakukan secara cepat, tidak memakan banyak tempat, dan murah dibandingkan implementasi secara langsung pada sistem yang memiliki resiko kegagalan sangat besar [11]. Aspek yang dilibatkan dalam melakukan penelitian ini adalah aspek teknis, infrastruktur, geografis, sosial, dan

ekonomi. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah membantu Pemerintah Provinsi Jawa Timur untuk mengoptimalkan potensi energi terbarukan khususnya *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif dan membantu pencapaian target nasional pada tahun 2025 agar energi alternatif dapat memberi kontribusi 5% dari kebutuhan energi listrik nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang harus diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan model pengembangan potensi energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif menggunakan Metode Sistem Dinamik?
2. Bagaimana skenario untuk mengukur dan mengoptimalkan ketersediaan energi *biogas* untuk kebutuhan energi listrik di Provinsi Jawa Timur?

1.3 Batasan Masalah

Berdasar pada permasalahan diatas, maka batasan masalah untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian mengenai energi terbarukan ini hanya dibatasi pada energi *biogas* sebagai energi listrik alternatif.
2. Wilayah yang menjadi objek penelitian adalah Provinsi Jawa Timur.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan, penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Mengembangkan model dari sistem ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif menggunakan Metode Sistem Dinamik.
2. Merancang beberapa skenario dan memilih skenario terbaik dalam mengukur dan mengoptimalkan ketersediaan energi *biogas* untuk kebutuhan energi listrik di Provinsi Jawa Timur.

1.5 Manfaat Penulisan

Melalui tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat yaitu:

Bagi akademis:

1. Mengenalkan teori model dan skenario sistem dinamik untuk sistem pendukung keputusan.
2. Dapat menjadi ilmu dan penelitian sistem dinamik dalam suatu bidang dan menjadi acuan untuk penerapan di bidang lainnya.

Bagi pemerintah:

1. Menjadi bahan alternatif solusi Provinsi Jawa Timur dalam mengembangkan energi *biogas* sebagai energi listrik alternatif melalui skenario yang telah dirancang.
2. Menjadi bahan analisis mengenai energi terbarukan di Provinsi Jawa Timur.
3. Membantu dalam pengambilan kebijakan untuk penerapan energi *biogas* sebagai energi listrik alternatif di Provinsi Jawa Timur.

1.6 Relevansi

Topik penelitian yang menjadi fokus dari tugas akhir ini adalah pengembangan model *dynamic system* yang merupakan obyek penelitian dalam area *Decision Support System*. Selain itu, terdapat beberapa mata kuliah yang terkait dengan penelitian tugas akhir ini adalah Simulasi Sistem dan Sistem Pendukung Keputusan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menjelaskan referensi-referensi yang berhubungan dengan tugas akhir. Terdiri atas penejaslan mengenai studi sebelumnya dan teori pendukung.

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa penelitian terdahulu sebagai pedoman dan referensi dalam melaksanakan proses-proses dalam penelitian, seperti yang terdapat dalam penelitian di tabel berikut, berisi informasi penelitian sebelumnya serta hubungan penelitian terhadap tugas akhir ini.

Tabel 2.1 Penelitian sebelumnya

Judul Penelitian	KAJIAN POTENSI ENERGI PANAS BUMI SEBAGAI ALTERNATIF PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK TERBARUKAN: SEBUAH FRAMEWORK SISTEM DINAMIK
Penulis, Tahun	Rinanza Zulmy Alhamri, 2016
Deskripsi Umum Penelitian	Penelitian difokuskan bagaimana untuk meningkatkan kesuksesan usaha panas bumi sehingga meningkatkan kapasitas terpasang dan produksi listrik tenaga panas bumi berdasarkan aspek teknis, ekonomi, infrastruktur, geografis, sosial, dan ekonomi menggunakan pemodelan dan simulasi. Metode yang digunakan adalah Sistem Dinamik dimana metode ini mampu mengakomodir

	perilaku system yang kompleks yang menimbulkan pengaruh sebab-akibat baik pengaruh internal maupun eksternal.
Keterkaitan Penelitian	Kesamaan pada konsep perencanaan energi terbarukan untuk pembangkit energi listrik sesuai dengan potensi energi terbarukan yang dimiliki oleh objek penelitian yang digunakan. Dan penggunaan Metode Sistem Dinamik agar dapat mengakomodir perilaku system yang kompleks yang menimbulkan pengaruh sebab-akibat baik pengaruh internal maupun eksternal.
Judul Penelitian	APLIKASI MODEL SISTEM DINAMIK UNTUK MENGANALISIS PERMINTAAN DAN KETERSEDIAAN LISTRIK SEKTOR INDUSTRI (STUDI KASUS: JAWA TIMUR)
Penulis, Tahun	Oxa Axella, 2012
Deskripsi Umum Penelitian	Penelitian ini berfokus dalam melakukan analisis permintaan energi listrik sektor industri berdasarkan kondisi saat ini. Kemudian memprediksi permintaan listrik industri di masa depan dan

	menganalisis apakah ketersediaan energi listrik di masa depan dapat mencukupi kebutuhan konsumsi masyarakat di Jawa Timur. Pemecahan masalah yang ditawarkan dengan menggunakan Pemodelan dan Simulasi, yang biasa disebut dengan Metode Sistem Dinamik.
Keterkaitan Penelitian	Penelitian ini memiliki kesamaan pada analisis ketersediaan energi listrik yang ada pada Jawa Timur. Metode yang digunakan sama-sama menggunakan Metode Sistem Dinamik dengan memanfaatkan pemodelan dan simulasi guna memformulasikan dan memecahkan model-model dari golongan yang luas.

2.2 Dasar Teori

Bagian ini akan menjelaskan mengenai teori-teori yang digunakan untuk mendukung tugas akhir.

2.2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami, dan memiliki proses yang berkelanjutan sehingga tidak perlu khawatir atauantisipasi akan kehabisan sumbernya [12]. Penerapan energi terbarukan sebagai energi alternatif tidaklah semudah yang dibayangkan, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Aspek-aspek tersebut adalah aspek teknis, infrastruktur, geografis, sosial, dan

ekonomi. Kelima aspek tersebutlah yang mempengaruhi tingkat keberhasilan dari sebuah implementasi energi terbarukan, energi terbarukan juga memiliki berbagai jenis yaitu [12]:

1. Energi Panas Bumi

Energi panas bumi berasal dari peluruhan radioaktif di pusat Bumi, yang membuat Bumi panas dari dalam, serta dari panas matahari yang membuat panas permukaan bumi. Energi panas bumi dapat dimanfaatkan sebagai:

- Sebagai tenaga pembangkit listrik dan digunakan dalam bentuk listrik
- Sebagai sumber panas bumi yang dimanfaatkan secara langsung menggunakan pipa ke perut bumi
- Sebagai pompa panas yang dipompa langsung dari perut bumi

2. Energi Surya

Energi surya adalah energi yang dihasilkan dari cahaya matahari. Energi surya sendiri dapat dimanfaatkan sebagai:

- Penghasil listrik menggunakan sel surya
- Penghasil listrik menggunakan menara surya
- Memanaskan makanan dan minuman menggunakan alat bertenaga surya

3. Tenaga Angin

Tenaga angin dihasilkan dari perbedaan temperatur di dua tempat berbeda menghasilkan tekanan udara yang berbeda, sehingga menghasilkan angin. Pemanfaatan tenaga angin dilakukan dengan cara membuat turbin angin yang memanfaatkan kecepatan angin. Turbin angin dimanfaatkan untuk menghasilkan energi kinetik maupun energi listrik.

4. Tenaga Air

Tenaga air digunakan karena memiliki massa dan mampu mengalir. Air memiliki massa jenis 800 kali dibandingkan udara. Bahkan gerakan air yang lambat mampu diubah ke dalam bentuk energi lain. Turbin air didesain untuk mendapatkan energi dari berbagai jenis reservoir, yang diperhitungkan dari jumlah massa air, ketinggian, hingga kecepatan air. Tenaga air dapat dimanfaatkan sebagai berikut:

- Bendungan pembangkit listrik
- Mikrohidro yang dibangun untuk membangkitkan listrik hingga skala 100 kilowatt. Umumnya dipakai di daerah terpencil yang memiliki banyak sumber air.
- Run-of-the-river yang dibangun dengan memanfaatkan energi kinetik dari aliran air tanpa membutuhkan reservoir air yang besar.

5. *Biomassa*

Energi biomassa berasal dari organisme atau produk dari metabolisme hewan, seperti kotoran sapi dan sebagainya. Biasanya biomassa dibakar untuk melepas energi kimia yang tersimpan di dalamnya, pengecualian ketika biofuel digunakan untuk bahan bakar fuel cell (misal direct methanol fuel cell dan direct ethanol fuel cell). Biomassa dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar atau untuk memproduksi bahan bakar jenis lain seperti biodiesel, bioetanol, atau *biogas* tergantung sumbernya. Biomassa berbentuk biodiesel, bioetanol, dan *biogas* dapat dibakar dalam mesin pembakaran dalam atau pendidih secara langsung dengan kondisi tertentu.

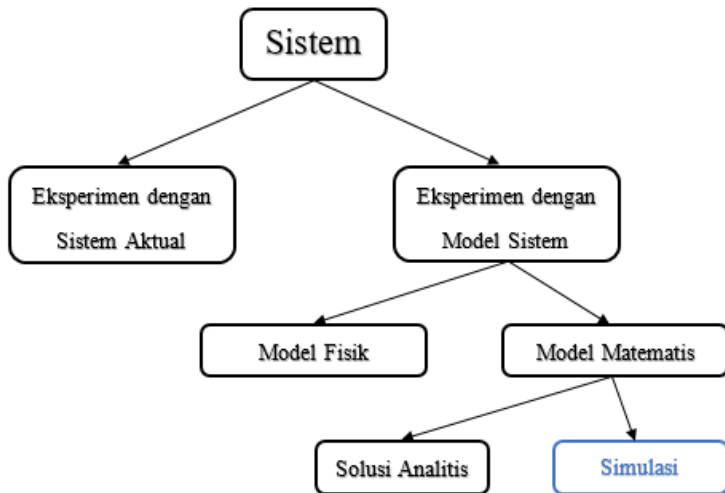
Biomassa menjadi sumber energi terbarukan jika laju pengambilan tidak melebihi laju produksinya, karena pada dasarnya biomassa merupakan bahan yang diproduksi oleh

alam dalam waktu relatif singkat melalui berbagai proses biologis. Ada tiga bentuk penggunaan biomassa yaitu secara padat, cair dan gas. Jadi *biogas* merupakan salah satu bentuk dari biomassa. Secara umum ada dua metode dalam memproduksi biomassa yaitu:

- Menumbuhkan organisme penghasil biomassa
- Menggunakan bahan sisa hasil industri pengolahan makhluk hidup.

2.2.2 Simulasi

Simulasi adalah suatu proses peniruan sistem yang sebenarnya tanpa perlu membuat sistem yang asli untuk menghemat waktu dan sumber daya yang dimiliki, simulasi biasanya dibuat menggunakan komputer. Teknik simulasi adalah teknik untuk merepresentasikan atau meniru kondisi real (suatu sistem nyata) dalam bentuk bilangan dan simbol (dengan memanfaatkan program komputer), sehingga menjadi mudah dipelajari [13]. Simulasi digunakan sebelum sebuah sistem dibangun, untuk mengurangi kemungkinan kegagalan, untuk menghilangkan kemacetan tak terduga, untuk mencegah under atau over-pemanfaatan sumber daya, dan untuk mengoptimalkan kinerja sistem [14]. Sehingga simulasi dapat diartikan sebagai program yang dibangun dengan model matematika berdasarkan pada sistem aslinya.



Gambar 2.1 Mempelajari sebuah sistem [13]

- Simulasi diperlukan ketika:
 1. Model sangat rumit dengan banyak variabel dan komponen yang saling berinteraksi.
 2. Hubungan antar variabel tidak linear.
 3. Model memiliki variate acak.
 4. Output dari model akan divisualisasikan sebagai animasi komputer 3D.
- Tujuan simulasi adalah untuk:
 1. Mempelajari “tingkah laku” sistem.
 2. Mengembangkan pengertian mengenai interaksi bagian-bagian dari sebuah sistem, dan pengertian mengenai sistem secara keseluruhan.
 3. Pelatihan.
 4. Hiburan (*game*).

- Kelebihan simulasi:
 1. Dapat dipadukan dengan model numerik untuk menganalisa sistem yang lebih kompleks.
 2. Didukung data yang berhubungan langsung dengan angka acak, dengan tipe data probabilistik.
 3. Mudah beradaptasi dan mudah digunakan untuk berbagai masalah.
- Kekurangan simulasi:
 1. Model simulasi masih bisa menyita waktu.
 2. Waktu eksekusi simulasi bisa sangat besar.
 3. Simulasi secara esensial adalah suatu proses eksperimen yang memerlukan perencanaan yang hati-hati.

2.2.3 Model Simulasi

Model simulasi terbagi menjadi tiga dimensi yaitu [14]:

1. Statistik dan dinamik

Statistik model tidak terpengaruh oleh perubahan waktu, sedangkan dinamik model dipengaruhi oleh perubahan waktu.

2. Kontinu dan diskret

Pada model diskret jika variabel yang mencerminkan status sistem berubah pada titik waktu tertentu sedangkan model kontinu jika perubahan variabel sistem berlangsung secara berkelanjutan seiring dengan perubahan waktu.

3. Deterministik dan stokastik

Model deterministik tidak mengandung variabel yang bersifat random, sedangkan model stokastik mengandung beberapa input yang bersifat random. Model bisa mempunyai

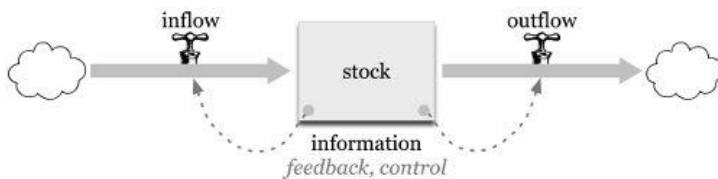
deterministic dan random variabel dalam komponen yang berbeda.

2.2.4 Sistem Dinamik

Sistem Dinamik merupakan pendekatan yang dilakukan menggunakan bantuan komputer untuk menganalisa dan mendesain sebuah kebijakan. Sistem Dinamik pertama kali diperkenalkan oleh Jay W. Forrester di Massachusetts Institute of Technology (MIT) pada tahun 1950-an. Secara mendasar Sistem Dinamik ditandai dengan ketergantungan, interaksi mutualisme, umpan balik informasi, dan perputaran sebab akibat. Tahapan pada Sistem Dinamik dimulai dengan mendefinisikan masalah secara dinamis dari waktu ke waktu, dilanjutkan dengan melakukan pemetaan dan pemodelan variabel-variabel signifikan yang mempengaruhi. Setelah pemodelan variabel-variabel tahapan selanjutnya adalah pengembangan model dan disimulasikan dengan bantuan komputer lalu mengumpulkan pemahaman dan kebijakan yang berlaku dari model yang dihasilkan [11].

Sistem Dinamik mempelajari sistem secara kompleks dengan memanfaatkan konsep sebab-akibat dan pemodelan *stock and flow*. Pendekatan Sistem Dinamik berhubungan dengan pengaruh *feedback* dan penundaan waktu yang berpengaruh pada sistem secara keseluruhan. Pada pemodelan diagram *stock and flow*, seperti pada Gambar 2.2, terdapat simbol-simbol yang digunakan dalam diagram meliputi [8]:

- a. *Stock* merepresentasikan sebagai sesuatu di dalam model yang dapat terakumulasi nilainya. *Stock* dapat bernilai tinggi dan rendah tergantung aliran yang diterima atau hilang.
- b. *Flow* merepresentasikan sebagai nilai yang mempengaruhi *stock*. Ada dua arah aliran yaitu aliran masuk (*inflow*) ke *stock* dan aliran keluar (*outflow*) dari *stock*. Keseimbangan akan terjadi apabila *inflow* dan *outflow* memiliki nilai yang sama besar.



Gambar 2.2 Stock and flow diagram [15]

Sistem Dinamik erat kaitannya dengan pemodelan di dalam komputer. Pemodelan yang dikembangkan dengan Model Sistem Dinamik diterjemahkan ke dalam perhitungan komputer. Dengan bantuan komputer, pemodelan dapat dilakukan berulang dengan cepat. Model Sistem Dinamik menjadi pencerminan pada suatu sistem, dimana hasil simulasi harus mirip dengan sistem yang dimodelkan. Dapat disimpulkan bahwa dengan bantuan komputer dalam melakukan simulasi dapat menekan biaya dan waktu daripada harus mengimplementasikan percobaan ke dalam aktual sistem secara langsung [8].

Sistem Dinamik adalah sebuah “metode” sehingga terdapat langkah-langkah dalam memodelkan suatu sistem

menggunakan Sistem Dinamik. Langkah-langkah yang terlibat dalam simulasi Sistem Dinamik adalah sebagai berikut:

1. Pendefinisian masalah yang meliputi:
 - a. Penentuan batasan masalah.
 - b. Identifikasi variable yang signifikan.
2. Ekuasi model, yaitu merumuskan hubungan antar komponen-komponen model.
3. Pengambilan data yang diperlukan sesuai dengan tujuan pembuatan model.
4. Pengembangan model yang ditentukan.
5. Verifikasi model terhadap error.
6. Validasi model, apakah model yang dibuat sudah sesuai dengan sistem nyata atau belum. Ada dua cara untuk melakukan validasi, yaitu sebagai berikut:

- a) Perbandingan rata-rata (mean comparison)

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}}$$

Keterangan:

\bar{S} = Nilai rata-rata hasil simulasi

\bar{A} = Nilai rata-rata data

Model dianggap valid bila $E1 \leq 5\%$

- b) Perbandingan variasi amplitudo (% error variance)

$$E2 = \frac{|Ss - Sa|}{Sa}$$

Keterangan:

Ss = Standar Deviasi Model

Sa = Standar Deviasi Data

Model dianggap valid bila $E2 \leq 30\%$

7. Setelah model valid maka langkah berikutnya membuat beberapa scenario untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan dugaan. Jenis-jenis skenario adalah sebagai berikut:
 - a. Skenario parameter dilakukan dengan jalan mengubah nilai parameter model. Relatif mudah dilakukan karena hanya melakukan perubahan terhadap nilai parameter model namun dampaknya hanya terhadap output model.
 - b. Skenario struktur dilakukan dengan jalan mengubah struktur model. Skenario jenis ini memerlukan pengetahuan yang cukup tentang sistem agar struktur baru yang diusulkan atau dieksperimenkan dapat memperbaiki kinerja sistem.
8. Interpretasi model, proses ini merupakan penarikan kesimpulan dari hasil keluaran model simulasi.
9. Implementasi yaitu penerapan model pada sistem.
10. Dokumentasi merupakan proses penyimpanan hasil keluaran model.

2.2.5 *Causal Loop Diagram*

Causal loop diagram adalah salah satu diagram yang digunakan untuk merepresentasikan suatu sistem dalam Metode Sistem Dinamik. *Causal loop diagram* digunakan untuk memahami hubungan sebab akibat yang merupakan salah satu alat untuk merepresentasikan struktur *feedback* dari sistem [16]. *Causal loop diagram* terdiri dari variabel – variabel dihubungkan dengan *link* (panah) dengan polaritas (tanda + dan -) dan penundaan (||). Tanda – tanda tersebut untuk membuat positif dan negatif feedback.



Gambar 2.3 Contoh causal loop diagram

Terlihat dari gambar diatas hal yang menyebabkan perubahan “ketersediaan” adalah “produksi dan konsumsi”, dengan menggunakan panah untuk mewakili hubungan kausal ini. Telah diketahui bahwa “produksi” yang lebih banyak menyebabkan “ketersediaan” lebih besar, dan “produksi” yang sedikit akan menyebabkan “ketersediaan” lebih rendah, hubungan ini memiliki polaritas positif, yang berarti bahwa kedua variabel bergerak ke arah yang sama: banyak mengarah ke banyak, atau kurang mengarah ke kurang, menunjukkan bahwa hubungan kausal memiliki polaritas positif dengan menempatkan tanda (+) di samping panah kepala. Telah diketahui bahwa lebih banyak “konsumsi” menyebabkan “ketersediaan” lebih rendah, dan Produksi lebih sedikit menyebabkan “ketersediaan” yang lebih besar. Variabel bergerak dalam arah yang berlawanan, banyak mengarah ke kurang, atau kurang mengarah ke banyak, jadi kita akan mengatakan bahwa hubungan ini memiliki polaritas negatif. Kami mewakili ini dengan label panah kepala dengan tanda (-) bahwa lebih banyak “konsumsi” menyebabkan “ketersediaan” lebih rendah, dan “konsumsi” lebih sedikit menyebabkan “ketersediaan” yang lebih besar [17].

2.2.6 Energi *Biogas* sebagai Pembangkit Listrik

Beberapa tahun terakhir ini energi merupakan persoalan yang krusial di dunia. Peningkatan permintaan energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk dan menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberikan tekanan kepada setiap

negara untuk segera memproduksi dan menggunakan energi terbarukan. Selain itu, peningkatan harga minyak dunia hingga mencapai 130 US\$ per barel juga menjadi alasan yang serius yang menimpa banyak negara di dunia terutama Indonesia.

Lonjakan harga minyak dunia akan memberikan dampak yang besar bagi pembangunan bangsa Indonesia. Konsumsi BBM yang mencapai 1,3 juta/barel tidak seimbang dengan produksinya yang nilainya sekitar 1 juta/barel sehingga terdapat defisit yang harus dipenuhi melalui impor. Menurut data ESDM (2006) cadangan minyak Indonesia hanya tersisa sekitar 9 miliar barel. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang.

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak pemerintah telah menerbitkan Peraturan presiden Republik Indonesia nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Kebijakan tersebut menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak [18].

Energi *biogas* adalah sebuah bentuk energi terbarukan yang dihasilkan dari pembusukan bahan-bahan organik seperti kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah biodegradable atau setiap limbah organik yang biodegradable dalam kondisi anaerobik [19]. Kandungan utama dalam *biogas* terdiri dari sekitar 2/3 metana (CH_4), 1/3 karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S) dalam jumlah kecil, dan sedikit hidrogen (H_2). Energi yang disediakan oleh *biogas* dapat digunakan untuk menyediakan panas, menghasilkan listrik, atau bahan bakar kendaraan. Energi *biogas* sendiri telah berhasil

diimplementasikan diberbagai negara maju maupun berkembang, penggunaan energi *biogas* sebagai energi terbarukan tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan dari limbah kotoran dan rumah tangga, hak tersebut juga mampu mengurangi emisi gas rumah kaca yang ada.

Pembentukan energi terjadi ketika bakteri dan mikroorganisme lainnya memecah dan memakan bahan organik tanpa adanya oksigen, proses tersebut dikenal dengan proses anaerobik. Proses anaerobik merupakan proses yang terjadi secara alami, sedangkan digester adalah perangkat buatan manusia yang digunakan untuk mengoptimalkan proses anaerobik. Proses anaerobik juga dapat menghasilkan endapan kompos yang dapat dijadikan sebagai pupuk.

Energi *biogas* dapat diproduksi dari berbagai jenis bahan organik. Di AS, beberapa petani menggunakan *biogas* dari kotoran sapi atau babi untuk daya pertanian mereka, bahkan mereka dapat menjual hasil produksi listrik mereka kepada perusahaan-perusahaan utilitas. Di Eropa dan Amerika Utara menggunakan limbah sampah organik yang ada pada TPA untuk menghasilkan listrik, dimana hal tersebut juga dapat meminimalkan pencemaran lingkungan yang terjadi. Di negara-negara berkembang seperti China dan India, energi *biogas* digunakan oleh peternakan kecil dan rumah tangga untuk pemanas dan memasak [20]. Sehingga untuk melakukan implemmentasi energi *biogas* sebagai energi listrik alternatif juga mempertimbangkan aspek teknis, infrastruktur, geografis, sosial, dan ekonomi yang ada pada lingkungan tersebut.

2.2.6.1 Sistem Produksi *Biogas*

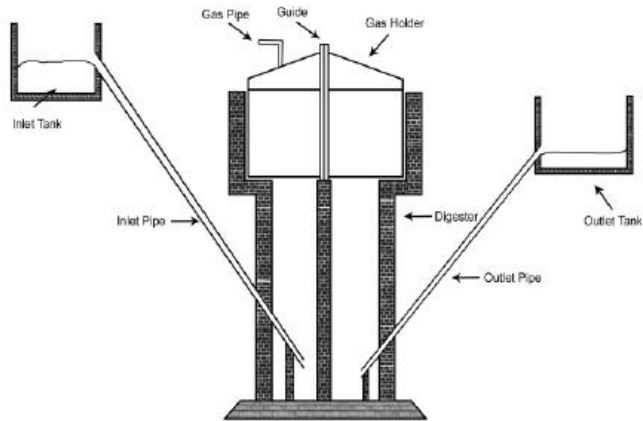
Sistem produksi *biogas* dapat dibedakan dari cara pengisian bahan bakunya, yaitu :

1. Pengisian Curah

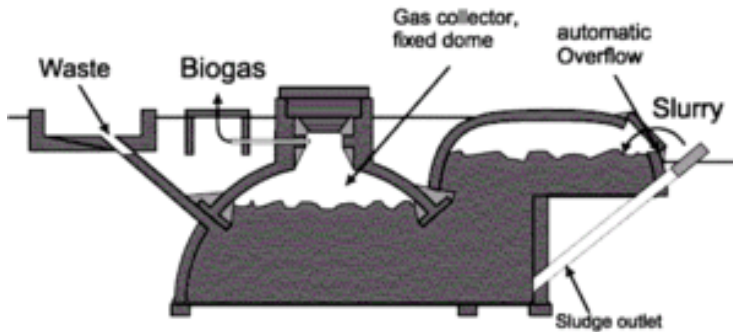
Sistem pengisian curah (SPC) adalah cara pengantian bahan yang dilakukan dengan cara mengeluarkan sisa bahan yang telah selesai diproses dari tangki pencerna (*digester*) setelah produksi *biogas* berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang baru. Sistem ini terdiri dari dua komponen, yaitu tangki pencerna dan tangki pengumpul gas. Untuk memperoleh *biogas* yang banyak, sistem ini perlu dibuat dalam jumlah yang banyak agar kecukupan dan kontinyuitas hasil *biogas* tercapai.

2. Pengisian Kontinyu

Sistem pengisian kontinyu (SPK) adalah pengisian bahan baku kedalam tangki pencerna (*digester*) yang dilakukan secara kontinyu (setiap hari) tiga hingga empat minggu sejak pengisian awal, tanpa harus mengeluarkan bahan yang sudah selesai diproses. Bahan baku baru yang diisikan setiap hari akan mendorong bahan isian yang sudah diproses keluar dari tangki pencerna melalui pipa pengeluaran. Keluaran biasanya dimanfaatkan sebagai pupuk kompos bagi tanaman, sedang cairannya sebagai pupuk bagi pertumbuhan algae pada kolam ikan. Dengan sistem pengisian curah, gas bio dapat diproduksi setiap hari setelah kurun waktu tiga sampai empat minggu sejak pengisian awal. Penambahan *biogas* ditunjukkan dengan semakin terdorongnya tangki penyimpan keatas untuk tipe *floating dome*. Sedangkan untuk *digester* tipe *fixed dome* penambahan *biogas* ditunjukkan oleh peningkatan tekanan pada manometer. Sampai pada tinggi tertentu yang dianggap cukup, *biogas* dapat dipakai seperlunya secara efisien [18].



Gambar 2.4 *Floating dome digester* [21]



Gambar 2.5 *Fixed dome digester* [22]

2.2.6.2 Teknologi *Biogas*

Teknologi *biogas* adalah proses penguraian limbah kotoran ternak oleh bakteri anaerob (bakteri Aceton dan Metan) dalam suatu tangki pencernaan (*digester*). Dari proses tersebut dihasilkan *biogas* dan pupuk *slurry*. Bahan bangunan yang

digunakan adalah material setempat, yaitu batu kali, batu bata, dan beton. Bangunan yang diperlukan dalam proses *bio digester* adalah:

1. Bak Pemasukan (*inet*)

Bak pemasukan (*inet*) berfungsi sebagai penampung kotoran dan air kencing ternak (sapi) sebelum dimasukkan ke dalam *digester*. Bak pemasukan ini dilengkapi dengan penyaring agar sisa rumput atau benda lain yang tidak diinginkan, tidak ikut masuk ke dalam *digester* yang dapat mempengaruhi efektivitas dan efisiensi proses anaerobik.

2. *Digester*

Digester adalah tempat berbentuk tandon berfungsi sebagai tangki pencernaan untuk memproses limbah organik misalnya kotoran sapi, air kencing, dan air. Sebagai tempat bakteri anaerob menguraikan limbah isian tersebut selama waktu tertentu. Dari proses fermentasi limbah tersebut akan menghasilkan *biogas*, serta *slurry* (sisa keluaran setelah di proses sebagai pupuk organik) yang siap pakai dengan unsur hara yang tinggi.

Biogas adalah campuran gas yang terdiri dari bermacam-macam gas, antara lain : CH_4 (metana) sebagai unsur utama, CO_2 , dan gas-gas lainnya yang kandungannya sangat sedikit. Dari proses fermentasi limbah tersebut akan mengeluarkan sisa yang bernama *slurry*, dimana *slurry* mengandung unsur-unsur : N, P, K, Ca, Mg, yang sangat dibutuhkan sebagai pupuk bagi tanaman.

3. Bak Pengeluaran

Bak pengeluaran adalah tempat untuk menampung limpahan *slurry* dari *digester* yang sudah penuh.

4. Bak Penampung *Slurry*

Bak penampung ini berfungsi sebagai tempat menampung luapan *slurry* yang berasal dari bak pengeluaran. *Slurry* di bak penampungan digunakan untuk menyaring atau memisahkan *slurry* cair untuk dikeringkan sehingga ringan saat pengangkutannya, sehingga mudah dikemas dalam plastik untuk dijual. Sebenarnya dalam keadaan basah atau cair kandungan unsur hara pada *slurry* sangat tinggi. Penggunaan *slurry* sebagai pupuk dalam keadaan basah atau cair sangat dianjurkan sehingga lebih baik tidak perlu melalui penyaring ini jika ingin menggunakannya secara langsung.

5. Bak Pengencer *Slurry*

Bak pengencer *Slurry* ini digunakan untuk menambah kandungan oksigen yaitu secara aerasi dan bisa diencerkan dengan tambahan air sehingga bisa dimanfaatkan untuk ternak lele [18].

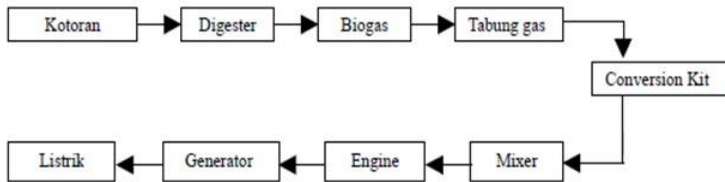
2.2.6.3 Proses Terbentuknya *Biogas* dan Manfaatnya

Kotoran sapi yang dicampur dengan air kencing atau air dicampur dalam bak pemasukan (inlet) selanjutnya disebut manure, masuk ke *digester*. Kandungan metana dalam *biogas* kurang lebih 60%, gas metana (CH_4) ini yang digunakan sebagai sumber energi untuk keperluan sehari-hari. Produksi *biogas* menurut Nurhasanah (2007) satu ekor sapi untuk suhu $23\text{--}32^\circ\text{C}$ antara 600-1.000 liter *biogas*/hari. Untuk 15 ekor sapi

dapat menghasilkan *biogas* sebanyak 9000-15000 liter/hari. Sisa dari proses tersebut di atas keluarlah *slurry* cair yang merupakan pupuk organik yang mengandung unsur makro yang dibutuhkan tanaman [18].

2.2.6.4 Kaji Teoritik Sistem Konversi Energi

Sistem instalasi Pembangkit Listrik Tenaga *Biogas* (PLTBG) dapat dibuat skema seperti berikut:



Gambar 2.6 Bagan sistem instalasi pembangkit listrik dari *biogas* [18]

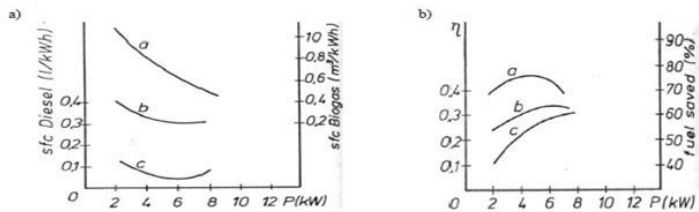
Proses perubahan *biogas* menjadi energi listrik dilakukan dengan memasukkan gas dalam tabung penampungan kemudian masuk ke *conversion kit* yang berfungsi menurunkan tekanan gas dari tabung sesuai dengan tekanan operasional mesin dan mengatur debit gas yang bercampur dengan udara didalam *mixer*, dari *mixer* bahan bakar bersama dengan udara masuk kedalam mesin dan terjadilah pembakaran yang akan menghasilkan daya untuk menggerakkan generator yang menghasilkan energi listrik. Karakteristik pembakaran yang terjadi pada mesin diesel berbeda dengan pembakaran pada mesin bensin.

1. Karakteristik Pembakaran *Biogas* didalam Mesin Diesel

Bahan bakar *biogas* membutuhkan rasio kompresi yang tinggi untuk proses pembakaran sebab *biogas* mempunyai titik nyala

yang tinggi yaitu sekitar 645°C - 750°C dibandingkan titik nyala solar 220°C , maka mesin diesel umumnya digunakan secara *dual fuel* dengan rasio kompresi sekitar 15-18. Proses pembakaran pada mesin *dual fuel*, bahan bakar *biogas* dan udara masuk ke tempat pembakaran pada saat langkah hisap dan kemudian dikompresikan didalam silinder seperti halnya udara dalam mesin diesel biasa. Bahan bakar solar dimasukkan lewat nosel pada saat mendekati akhir langkah kompresi, dekat titik mati atas (TMA) sehingga terjadi pembakaran.

Temperatur awal kompresi tidak boleh lebih dari 80°C karena akan menyebabkan terjadinya *knocking* dan peristiwa *knocking* yang terjadi pada mesin *dual fuel* hampir sama dengan yang terjadi pada mesin bensin, yaitu terjadinya pembakaran yang lebih awal akibat tekanan yang tinggi dari mesin diesel. Hal ini disebabkan karena bahan bakar *biogas* masuk bersama-sama dengan udara ke ruang bakar, sehingga yang dikompresikan tidak hanya udara tapi juga

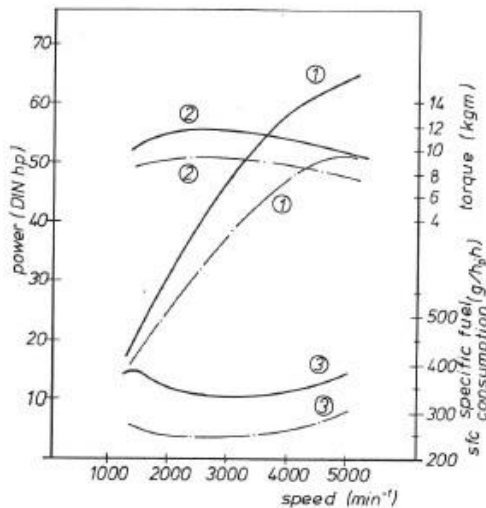


Gambar 2.7 Grafik performa pada mesin [18]

- A. a sfc *biogas* dalam *dual fuel*, b sfc solar dalam mesin diesel, c sfc solar dalam *dual fuel*
- B. a mesin diesel dengan solar yang diritkan, b efisiensi mesin diesel, c efisiensi dualfuel

2. Karakteristik Pembakaran *Biogas* didalam Mesin Bensin

Mesin bensin dengan rasio kompresi yang hanya berkisar antara 6-9,5 tidak cukup untuk melakukan pembakaran *biogas* karena titik nyala *biogas* yang tinggi sekitar 645°C - 750°C , untuk itu dilakukan penambahan rasio kompresi mesin menjadi 10-12. Proses pembakaran *biogas* sama seperti pada mesin bensin normal, yaitu *biogas* dan udara masuk ke tempat pembakaran dan pada akhir langkah kompresi terjadi pembakaran, pembakaran ini terjadi karena bantuan loncatan bunga api dari busi.



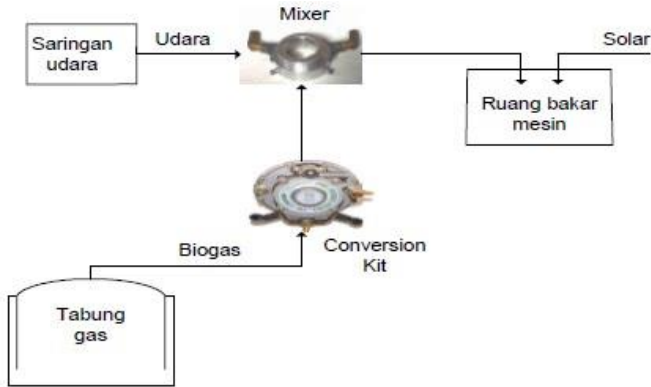
Gambar 2.8 Diagram performa mesin bensin dengan bahan bakar bensin dan *biogas* 1) daya, 2) torsi, 3) konsumsi bahan bakar spesifik [18]

3. Pemilihan Mesin Penggerak

Berdasarkan hasil survey lapangan bahwa mesin yang dapat digunakan untuk mesin penggerak generator PLTBG adalah

mesin diesel dan bensin. Di pasaran untuk mesin bensin harganya jauh lebih mahal dari mesin diesel dengan daya yang sama dan untuk daya yang besar hanya mesin diesel yang dapat digunakan sebab tidak adanya mesin bensin dengan daya besar di pasaran. Penggunaan kedua jenis mesin tersebut dalam kenyataannya menghasilkan efisiensi yang rendah sehingga perlu adanya modifikasi.

Modifikasi yang perlu dilakukan untuk mengubah mesin diesel menjadi mesin berbahan bakar *biogas* adalah dengan cara menambahkan *conversion kit* dan *mixer*. Fungsi *conversion kit* adalah untuk mengatur debit dan menurunkan tekanan aliran bahan bakar sesuai dengan tekanan operasional yang diinginkan, sedangkan *mixer* berfungsi sebagai pencampur bahan bakar dengan udara. Pemasangan *mixer* terletak pada saluran masuk udara dan *conversion kit* terpasang antara *mixer* dan tabung gas (*Gas holder*). Sistem modifikasi ini menggunakan sistem *dual fuel* yaitu mesin menggunakan dua bahan bakar yang dilakukan secara bersamaan dengan komposisi 20% solar dan 80% *biogas*. Hal ini dilakukan karena titik nyala pembakaran *biogas* sangat tinggi yaitu sekitar 645°C-750°C.



Gambar 2.9 Skema pemasangan *mixer* dan *conversion kit* pada mesin diesel [18]

Modifikasi mesin bensin hampir sama dengan mesin diesel yaitu dengan cara menambah *conversion kit* dan *mixer*. Perbedaannya adalah pada mesin bensin bahan bakar *biogas* dapat digunakan 100%, hal ini dikarenakan adanya busi sehingga bahan bakar *biogas* akan cepat terbakar. Pemasangan *mixer* terletak antara saringan udara dan karburator, sedangkan *conversion kit* terpasang antara *mixer* dan tabung gas (*gas holder*). Perkiraan biaya untuk pembelian *conversion kit* dan *mixer* yaitu sekitar Rp 4.800.000,00 untuk kondisi alat baru [18].

2.2.7 Perhitungan Ekonomi PLTBG

Perhitungan ekonomi penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga *Biogas* (PLTBG) untuk peternakan sedang dan besar dengan pemakaian mesin diesel dan bensin, dan dibandingkan dengan keuntungan listrik yang dihasilkan yang disesuaikan dengan tarif dasar listrik PLN.

Tabel 2.2 Daya listrik yang dapat dihasilkan dari peternakan sedang dan besar

Variabel	Peternakan Sedang	Peternakan Besar
Jumlah sapi (ekor)	60	300
<i>Biogas</i> yang dihasilkan (m ³ /ekor/hari)	0,94	0,94
<i>Biogas</i> yang dihasilkan dari peternakan (m ³ /hari)	70,5	282
Daya yang dihasilkan (kW)	3,05	15,27
Energi yang dihasilkan (kWh)	73,2	366,5

Tabel 2.3 Perkiraan biaya investasi PLTBG pada peternakan sedang dan besar

	Peternakan Sedang		Peternakan Besar	
	Mesin Buatan (3KW)	Mesin Diesel (3KW)	Mesin Bensin	Mesin Solar (15KW)
Harga mesin	8.000.000,00	2.500.000,00	Tidak ada	51.500.000,00
<i>Conversion kit + Mixer</i>	4.800.000,00	4.800.000,00		4.800.000,00
Total investasi (Rp)	12.800.000,00	7.300.000,00		56.300.000,00

Tabel 2.4 Perkiraan biaya operasi PLTBG pada peternakan sedang dan besar

	Peternakan Sedang		Peternakan Besar	
	Mesin Buatan (3KW)	Mesin Diesel (3KW)	Mesin Bensin	Mesin Solar (15KW)
Kebutuhan bahan bakar selain <i>biogas</i> per-tahun	Tidak ada	2.891.000,00	Tidak ada	13.008.600,00
Perawatan rutin per-tahun (0,05 x harga mesin)	400.000,00	125.000,00		2.575.000,00
Biaya operasi mesin per-tahun	7.300.000,00	7.300.000,00		7.300.000,00
Total operasi (Rp)	7.700.000,00	10.316.000		22.883.600,00

Biaya investasi dari mesin diesel lebih kecil dari pada mesin bensin, sehingga mesin diesel lebih menguntungkan dari segi ekonomi. Di lain sisi dari aspek perawatan mesin diesel dan mesin bensin dapat dikatakan sebanding dan membutuhkan biaya yang relatif sama. Dilihat dari aspek operasi mesin diesel lebih mudah, mempunyai umur operasi yang lama dan menggunakan sedikit bahan bakar untuk penyediaan daya yang sama dibandingkan dengan mesin bensin. Hal ini dapat dijadikan alasan bahwa mesin diesel lebih menguntungkan sebagai mesin penggerak pada PLTBG.

Keuntungan dari membangkitkan listrik dari PLTBG adalah energi listrik yang dapat dihasilkan dikalikan dengan harga listrik yang harus dibayar pemakai jika menggunakan listrik dari PLN.

Harga listrik Rp 545/kWh dan biaya beban Rp 30.000,00/kVA. Nilai rupiah yang dapat dihasilkan dari membangkitkan listrik dari energi *biogas* pada peternakan sedang dengan daya 3 kW (4 kVA) dalam satu tahun dengan penggunaan tiap hari 24 jam adalah Rp 15.762.600,00.

Analisa ekonomi pembangkit listrik tenaga *biogas* dengan mesin penggerak dari mesin diesel untuk peternakan skala sedang, jika bunga investasi untuk kredit dari bank 19 % adalah [18]:

$$\begin{aligned}\text{Total investasi} &= \text{Rp } 7.300.000,00 + \text{Rp } 7.300.000,00 \times 19\% \\ &= \text{Rp } 8.687.000,00\end{aligned}$$

Umur teknis ekonomis 10 Tahun

$$\begin{aligned}\text{Depresiasi} &= \text{Rp } 8.687.000,00 / 10 \\ &= \text{Rp } 868.700,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cash flow} &= \text{Keuntungan} + \text{Depresiasi} - \text{biaya operasional} \\ &= \text{Rp } 15.762.600,00 + \text{Rp } 868.700,00 - \text{Rp } 10.316.000,00 \\ &= \text{Rp } 6.220.400,00\end{aligned}$$

$$\text{IRR (Initial Rate of Return)} = 72\%$$

$$\text{NPV (Net Present Value)} = \text{Rp } 15.726.618,00$$

$$\text{BCR (Benefit Cost Ratio)} = 1,45$$

$$\text{PB (Pay back)} = 1 \text{ tahun } 5 \text{ bulan}$$

Nilai rupiah yang dapat dihasilkan, sesuai harga listrik dari PLN, dari membangkitkan listrik dengan *biogas* pada peternakan besar dengan daya 15 kW (19 kVA) dalam satu

tahun dengan penggunaan tiap hari 24 jam adalah Rp 78.453.000,00. Jika bunga investasi untuk kredit dari bank 19% maka analisa pembangkit listrik tenaga *biogas* untuk peternakan skala besar adalah [18]:

$$\begin{aligned}\text{Total investasi} &= \text{Rp } 56.300.000,00 + \text{Rp } 56.300.000,00 \times 19\% \\ &= \text{Rp } 66.997.000,00\end{aligned}$$

Umur teknis ekonomis 10 Tahun

$$\begin{aligned}\text{Depresiasi} &= \text{Rp. } 66.997.000,00 / 10 \\ &= \text{Rp. } 6.699.700,00\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cash flow} &= \text{Keuntungan} + \text{Depresiasi} - \text{biaya operasional} \\ &= \text{Rp } 78.453.000,00 + \text{Rp } 6.699.700,00 - \text{Rp } 22.883.600,00 \\ &= \text{Rp } 61.537.200,00\end{aligned}$$

$$\text{IRR}(\text{Initial Rate of Return}) = 93\%$$

$$\text{NPV}(\text{Net Present Value}) = \text{Rp } 170.743.335,00$$

$$\text{BCR}(\text{Benefit Cost Ratio}) = 2,87$$

$$\text{PB}(\text{Pay back}) = 1 \text{ tahun } 1 \text{ bulan}$$

2.2.8 Kapasitas Pembangkit Terpasang di Provinsi Jawa Timur

Bagian ini menggambarkan kapasitas pembangkit terpasang yang ada di Provinsi Jawa Timur pada tahun 2015 untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat Jawa Timur [23].

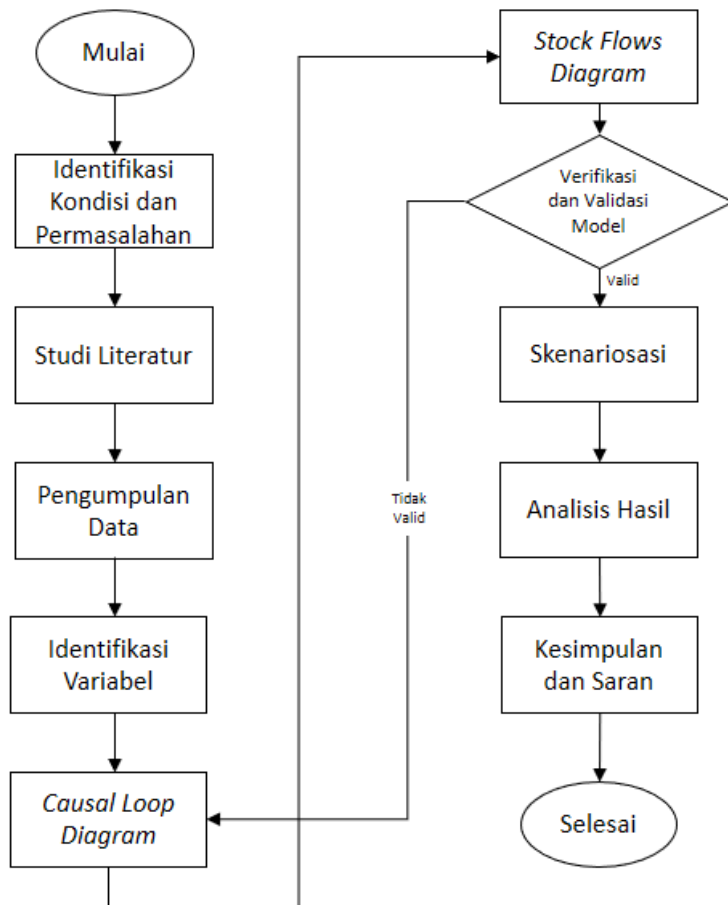
Tabel 2.5 Kapasitas pembangkit terpasang

No.	Nama Pembangkit	Jenis	Jenis	Pemilik	Kapasitas Terpasang MW	Daya Mampu MW
1	Karang Kates	PLTA	Air	PJB	105	103
2	Wlingi	PLTA	Air	PJB	54	54
3	Ledoyo	PLTA	Air	PJB	5	5
4	Selorejo	PLTA	Air	PJB	5	5
5	Sengguruh	PLTA	Air	PJB	29	29
6	Tulung Agung	PLTA	Air	PJB	36	36
7	Mendalan	PLTA	Air	PJB	23	21
8	Siman	PLTA	Air	PJB	11	10
9	Madiun	PLTA	Air	PJB	8	8
10	Paiton	PLTU	Batubara	PJB	800	740
11	Paiton PEC	PLTU	Batubara	Swasta	1.230	1.220
12	Paiton JP	PLTU	Batubara	Swasta	1.220	1.220
13	Gresik 1-2	PLTU	Gas	PJB	200	160
14	Gresik 3-4	PLTU	Gas	PJB	400	340
15	Perak	PLTU	BBM	Indonesia Power	100	72
16	Gresik	PLTG	Gas	PJB	62	31
17	Gilitimur	PLTG	BBM	PJB	40	0
18	Grati Blok 1	PLTGU	Gas	Indonesia Power	462	456
19	Grati Blok 2	PLTG	Gas	Indonesia Power	302	300
20	Gresik B-1	PLTGU	Gas	PJB	526	480
21	Gresik B-2	PLTGU	Gas	PJB	526	480
22	Gresik B-3	PLTGU	Gas	PJB	526	480
23	Paiton 3	PLTU	Batubara	Swasta	815	815
24	Paiton 9	PLTU	Batubara	PLN	660	615
25	Pacitan 1-2	PLTU	Batubara	PLN	630	560
26	Tanjung Awar-awar 1	PLTU	Batubara	PLN	350	323
Jumlah					9125	8561

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Metodologi ini diperlukan sebagai panduan secara sistematis dalam pengerjaan tugas akhir.



Gambar 3.1 Metodologi penelitian

3.1 Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir

Pada bagian ini menjelaskan seluruh tahapan yang dilakukan selama penelitian berdasarkan metodologi yang digambarkan pada Gambar 3.1.

3.1.1 Identifikasi Kondisi dan Permasalahan

Tahap ini berfungsi untuk mengidentifikasi mengenai kondisi dan gambaran umum permasalahan sistem, mulai dari permasalahan-permasalahan yang ada, kebutuhan yang diharapkan, dan hal-hal lain yang diperlukan untuk memperoleh gambaran umum tugas akhir. Untuk mengetahui permasalahan yang sebenarnya, maka perlu mengumpulkan informasi secara aktual sesuai dengan kejadian lapangan dan semua gejala yang ditimbulkannya. Dalam tugas akhir ini permasalahan yang diungkapkan adalah pembuatan model dan simulasi untuk menciptakan model analisis ketersediaan energi *bogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif di Provinsi Jawa Timur.

3.1.2 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan pencarian serta pemahaman informasi dan literatur terkait penelitian yang dilakukan. Pemahaman mengenai konsep dari pemodelan dan simulasi, teori dan konsep energi terbarukan khususnya energi *biogas*. Serta dilakukan identifikasi masalah terkait pengembangan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif di Provinsi Jawa Timur.

3.1.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk membantu penyelesaian permasalahan. Data-data mengenai variabel yang dibutuhkan dalam tahap pemodelan. Pengambilan data pada tugas akhir ini dilakukan melalui

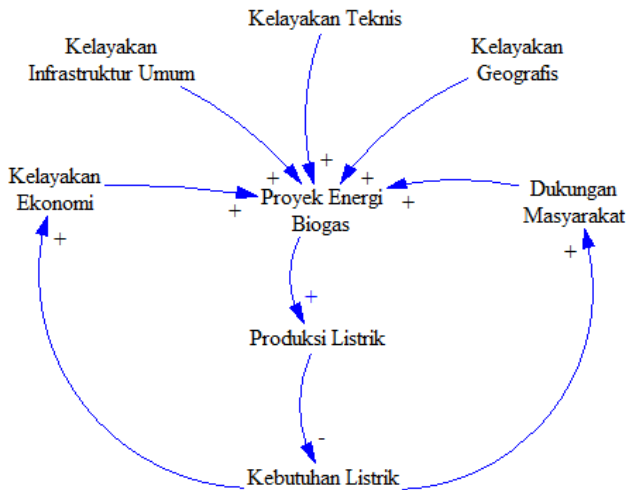
beberapa cara: 1. Referensi 2. Penelitian sebelumnya 3. Wawancara dan pencarian data dari Pemerintah Provinsi Jawa Timur 4. Observasi terkait pengembangan energi *biogas* sebagai pembangkit listrik alternatif di Provinsi Jawa Timur.

3.1.4 Identifikasi Variabel

Dalam berjalannya sistem terdapat komponen-komponen yang saling mempengaruhi dan menimbulkan hubungan sebab akibat. Komponen-komponen yang mempengaruhi secara signifikan dari hasil berjalannya sistem disebut variabel. Setiap variabel dari sistem dipetakan dan ditentukan parameter apa saja yang mempengaruhi setiap variabel tersebut. Seluruh variabel dan parameter yang mempengaruhinya dijabarkan secara sistematis. Identifikasi variabel ditentukan bertujuan untuk memudahkan dalam menyusun tahap berikutnya yaitu pembuatan *causal loop diagram*.

3.1.5 Causal Loop Diagram

Pembuatan *causal loop diagram* dilakukan sebelum disimulasikan ke dalam *stock flows diagram*. Tujuan digunakan diagram kausatik adalah untuk mengklasifikasikan faktor-faktor atau indikator ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit listrik alternatif ke dalam variabel dalam *causal loop diagram*. *Causal loop diagram* berfungsi untuk merepresentasikan system yang dibuat agar lebih mudah untuk memahami keterkaitan setiap variabel yang ada.



Gambar 3.2 Diagram causal loop sistem secara umum

3.1.6 Stock Flow Diagram

Pembuatan *stock flows diagram* dilakukan dengan cara mengambil variabel-variabel yang ada pada *causal loop diagram*. Kemudian diklasifikasikan terlebih dahulu variabel-variabel mana saja yang termasuk ke dalam *level*, *rate/flow*, *auxiliary*, *source and sink*, atau *parameter*. Hal ini bertujuan untuk memudahkan perumusan dan pencarian hasil dari masing-masing faktor. Setelah model terbentuk, selanjutnya adalah merumuskan hubungan dari variabel satu ke variabel lainnya menggunakan rumusan *equation vensim* yang pada tahapan sebelumnya telah diidentifikasi.

3.1.7 Pengujian Model

Setelah membuat model, tahapan selanjutnya adalah pengujian model. Pengujian model simulasi selalu mencakup dua tahapan penting, yaitu verifikasi dan validasi model. Pada fase verifikasi

model dilakukan proses pengecekan terhadap model, apakah model yang sudah dibuat telah merefleksikan model konseptual dengan jelas dan terbebas dari *error*. Verifikasi model harus dilakukan terutama untuk menghindari terjadinya kesalahan logika yang mungkin timbul, sehingga memastikan model dapat memberikan solusi yang masuk akal. Verifikasi model juga mencegah terjadinya kesalahan umum, seperti cakupan variabel yang kurang penting sementara variabel lain yang signifikan justru terabaikan.

Sedangkan validasi model, bertujuan untuk melihat apakah model sudah menggambarkan kondisi nyata atau tidak. Validasi model dilakukan setelah model simulasi diverifikasi. Pada tahap ini, proses pengujian model dilakukan. Suatu model dapat dikatakan valid ketika tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan sistem nyata yang diamati baik dari karakteristiknya maupun dari perilakunya. Pengujian yang akan digunakan untuk melakukan validasi adalah melalui metode *behaviour validity test*, yaitu fungsi yang digunakan untuk memeriksa apakah model yang dibangun mampu menghasilkan tingkah laku (*behaviour*) *output* yang diterima. Validasi dilakukan dengan cara *mean comparison* dan *error variance*. Dari proses verifikasi dan validasi, model simulasi yang telah teruji keandalannya dapat dihasilkan. Model tersebut masih harus dianalisis melalui perbandingan hasil *output* skenario, sehingga pertanyaan yang diajukan diawal pembentukan model dapat terjawab.

3.1.8 Skenariosasi

Tahapan ini dilakukan perubahan kondisi terhadap variabel model sehingga akan menghasilkan dihasilkan *output* yang berbeda dengan model awal. Dari *output* yang berbeda tersebut nantinya dilakukan analisa pengaruh perubahan,

apakah terjadi efek perbedaan secara signifikan atau tidak. Skenario dibuat untuk mengetahui kondisi yang paling ideal dari sistem.

3.1.9 Analisis Hasil

Tahap selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan model baru. Dari beberapa skenario diatas kemudian akan dipilih satu dari beberapa skenario tersebut yang memiliki hasil atau nilai paling baik. Skenario terbaik nantinya akan menjadi model pendukung keputusan untuk *pengembangan energi biogas sebagai energi pembangkit listrik alternatif di Provinsi Jawa Timur*.

3.1.10 Kesimpulan dan Saran

Langkah berikutnya adalah membuat kesimpulan dan saran. Tahapan ini digunakan untuk mengetahui apakah hasil tugas akhir sesuai dengan tujuan yang telah diterapkan serta memberikan saran berupa pengembangan atau perbaikan tugas akhir selanjutnya. Kesimpulan dan saran dibuat untuk melengkapi penyusunan dokumentasi tugas akhir, yang ditujukan agar seluruh langkah-langkah yang telah dilakukan dapat memberikan informasi yang berguna bagi yang membacanya. Tahap ini merupakan tahapan terakhir dalam pengerjaan tugas akhir. Tahapan ini mendokumentasikan seluruh tahapan yang dilakukan dan seluruh luaran dari setiap proses yang dijalani. Luaran dari proses ini adalah buku laporan tugas akhir yang disesuaikan dengan *format* yang sudah ditetapkan oleh Jurusan Sistem Informasi.

BAB 4 PERANCANGAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang termasuk ke dalam perancangan dan implementasi dari sistem. Tahap-tahapan tersebut meliputi Pengumpulan Data, *Causal Loop Diagram*, *Stock Flows Diagram*, Validasi Model Konseptual, dan Skenariosasi . Setiap tahapan tersebut akan saling berhubungan, sehingga harus dilakukan secara berurutan. Berikut adalah penjelasan dari setiap tahapan-tahapan perancangan.

4.1 Pengumpulan Data

Pada bagian pengumpulan data akan dijelaskan terkait data-data yang digunakan untuk mendukung pengembangan model sistem pemanfaatan ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif. Data yang akan dijelaskan meliputi sebagian besar dari data sekunder kuantitatif. Pemaparan sebagian data sekunder kuantitatif yang lainnya serta data sekunder kualitatif akan dijelaskan seiring dengan penjelasan pengembangan model pada tahapan *Stock Flows Diagram*.

Data yang dijelaskan pada sub-bab pengumpulan data ini meliputi data berdasarkan aspek teknis, aspek infrastruktur, aspek geografis, dan aspek ekonomi. Data aspek teknis berkaitan dengan kondisi teknis dari pemanfaatan ketersediaan energi *biogas* meliputi resiko pemiihan bahan organik, kalayakan *biodigester*, dan kelayakan turbin. Aspek infrastruktur sendiri berkaitan dengan kelayakan infrastruktur yang ada pada objek penelitian. Untuk aspek geografis terkait data tentang kondisi wilayah dan kondisi cuaca yang ada pada objek penelitian. Kemudian aspek ekonomi berhubungan

dengan kelayakan ekonomi, biaya proyek, dana pinjaman, pajak, dan keputusan investasi.

4.1.1 Data Kondisi Teknis

Mengetahui jumlah ketersediaan energi *biogas* yang ada di Provinsi Jawa Timur merupakan hal penting untuk mengetahui potensi yang dimiliki Provinsi Jawa Timur dalam implementasi Pembangkit Energi Listrik Energi *Biogas*. Dapat dilihat pada Tabel 4.1 menunjukkan jumlah ketersediaan energi *biogas* yang ada di Jawa Timur yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik. Data tersebut didapatkan dari kantor ESDM Provinsi Jawa Timur yang ada di kota Surabaya.

Tabel 4.1 Ketersediaan Energi *Biogas* di Provinsi Jawa Timur [24]

Tahun	GWh/Tahun
2000	9568.89
2001	9628.89
2002	9856.52
2003	10724.87
2004	10897.58
2005	11056.32
2006	11259.9
2007	11456.42
2008	11589.63
2009	10731.28
2010	9579.26
2011	9862.57
2012	10681.52
2013	11210.92
2014	11741.5
2015	12376.78
2016	10782.15

4.1.2 Data Kondisi Infrastruktur

Mengetahui panjang jalan dan jumlah kendaraan pengangkut alat berat dibutuhkan untuk mengetahui kelayakan infrastruktur yang ada di Provinsi Jawa Timur dalam pembuatan model konseptual yang akan dilakukan. Dapat dilihat pada Tabel 4.2 merupakan perhitungan panjang jalan yang dilakukan oleh Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat Provinsi Jawa Timur.

Tabel 4.2 Panjang Jalan di Provinsi Jawa Timur [25]

Jenis Jalan	Panjang Jalan (km)
Jalan Nasional	1899
Jalan Provinsi	1439
Jalan Kabupaten	22864
TOTAL	26202

Pada Tabel 4.3 menunjukkan jumlah kendaraan pengangkut alat berat yang ada di Provinsi Jawa Timur yang dikeluarkan oleh Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat Provinsi Jawa Timur.

Tabel 4.3 Jumlah Kendaraan Pengangkut Alat Berat di Provinsi Jawa Timur [25]

Tahun	Jumlah (Unit)
2000	103
2001	134
2002	147
2003	215
2004	303
2005	323
2006	403
2007	172

Tahun	Jumlah (Unit)
2008	187
2009	59
2010	168
2011	197
2012	203
2013	163
2014	173
2015	181
2016	212

4.1.3 Data Kondisi Geografis

Untuk mengetahui kelayakan kondisi geografis di suatu wilayah harus mengetahui kondisi cuaca yang ada pada wilayah tersebut. Dan untuk mengetahui kondisi cuaca harus memiliki data rata-rata curah hujan, rata-rata suhu udara, dan rata-rata kecepatan angin. Pada Tabel 4.4 menunjukkan rata-rata curah hujan yang ada di Provinsi Jawa Timur.

Tabel 4.4 Rata-rata curah hujan di Provinsi Jawa Timur [26]

Tahun	Curah Hujan (mm)
2000	848
2001	2478.9
2002	1463.6
2003	2160.6
2004	1707.5
2005	1204.97
2006	1042.48
2007	1515.2
2008	1502.9
2009	1987
2010	2573.5

Tahun	Curah Hujan (mm)
2011	1721.14
2012	1825
2013	1897
2014	1478.6
2015	1587.5
2016	1834.45

Pada Tabel 4.5 menunjukkan data rata-rata suhu udara per Tahun yang ada di Provinsi Jawa Timur. Data tersebut dikeluarkan oleh BMKG Indonesia.

Tabel 4.5 Rata-rata suhu udara di Provinsi Jawa Timur [26]

Tahun	Suhu Udara ($^{\circ}\text{C}$)
2000	27.19
2001	28.54
2002	28.75
2003	29.6
2004	29.38
2005	27.22
2006	26.92
2007	26.89
2008	26.57
2009	26.89
2010	27.65
2011	26.57
2012	26.87
2013	27.34
2014	26.58
2015	26.67
2016	27.89

Sedangkan pada Tabel 4.6 menampilkan rata-rata kecepatan angin per Tahun yang ada di Provinsi Jawa Timur. Data tersebut juga dikeluarkan oleh BMKG Indonesia.

Tabel 4.6 Rata-rata kecepatan angin di Provinsi Jawa Timur [26]

Tahun	Kecepatan Angin (m/d)
2000	2.19
2001	6.12
2002	6.12
2003	2.95
2004	5.12
2005	7.06
2006	4.2
2007	3.59
2008	2.93
2009	2.42
2010	5.05
2011	4.62
2012	5.34
2013	5.67
2014	4.32
2015	4.78
2016	5.47

4.1.4 Data Kondisi Ekonomi

Menilai kelayakan kondisi ekonomi dalam sektor pengembangan energi *biogas* yang ada pada suatu wilayah dibutuhkan data-data pendukung untuk mendukung kebenaran yang ada. Beberapa data tersebut terkait dengan anggaran pengembangan rata-rata harga jual listrik, ketersediaan energi *biogas* di Provinsi Jawa Timur, laju inflasi, dan suku bunga [27]. Pada Tabel 4.7 menampilkan data rata-rata harga jual

listrik di Jawa per tahun mulai dari tahun 2000 hingga tahun 2016. Dimana rata-rata harga listrik ini digunakan untuk menghitung *payback period* dari sebuah PLTBG yang akan dikembangkan.

Tabel 4.7 Rata-rata harga jual listrik [28]

Tahun	Harga (Rupiah per kWh)
2000	516.4
2001	557.2
2002	489.7
2003	457.5
2004	415.62
2005	514.7
2006	579.74
2007	615.1
2008	746.61
2009	639.87
2010	701.39
2011	792.61
2012	1121.5
2013	1103.5
2014	1086.7
2015	1055.6
2016	1150

Pada Tabel 4.8 menampilkan data ketersediaan energi *biogas* di Provinsi Jawa Timur, guna mengetahui seberapa besar energi *biogas* yang dapat dimanfaatkan pada setiap wilayah yang ada di Provinsi Jawa Timur. Sehingga dapat mengetahui seberapa besar kapasitas PLTBG yang cocok untuk dikembangkan didaerah tersebut.

Tabel 4.8 Ketersediaan energi *biogas* di Provinsi Jawa Timur

No.	Kabupaten/Kota	Potensi <i>Biogas</i> (MWh/hari)
1.	Kab. Pacitan	488,99
2.	Kab. Ponorogo	1.250,21
3.	Kab. Trenggalek	447,60
4.	Kab. Tulungagung	992,55
5.	Kab. Blitar	2.384,16
6.	Kab. Kediri	1.186,80
7.	Kab. Malang	2.016,51
8.	Kab. Lumajang	1.182,33
9.	Kab. Jember	1.827,91
10.	Kab. Banyuwangi	1.148,45
11.	Kab. Bondowoso	932,01
12.	Kab. Situbondo	923,40
13.	Kab. Probolinggo	698,53
14.	Kab. Pasuruan	1.155,58
15.	Kab. Sidoarjo	425,28
16.	Kab. Mojokerto	665,28
17.	Kab. Jombang	1.925,33
18.	Kab. Nganjuk	1.132,35
19.	Kab. Madiun	430,35
20.	Kab. Magetan	614,17
21.	Kab. Ngawi	856,28
22.	Kab. Bojonegoro	1.081,64
23.	Kab. Tuban	1.322,53
24.	Kab. Lamongan	613,47
25.	Kab. Gresik	658,13
26.	Kab. Bangkalan	1.045,51
27.	Kab. Sampang	1.227,25
28.	Kab. Pamekasan	788,38
29.	Kab. Sumenep	1.675,20
30.	Kota Kediri	100,23
31.	Kota Blitar	70,86

No.	Kabupaten/Kota	Potensi <i>Biogas</i> (MWh/hari)
32.	Kota Malang	156,99
33.	Kota Probolinggo	84,84
34.	Kota Pasuruan	44,35
35.	Kota Mojokerto	24,35
36.	Kota Madiun	37,30
37.	Kota Surabaya	442,40
38.	Kota Batu	111,00
JUMLAH		32.168,50

Pada Tabel 4.9 menampilkan data laju inflasi per tahun yang terjadi di Indonesia, generalisasi wilayah objek penelitian dilakukan untuk mendapatkan data konkrit terkait laju inflasi yang terjadi.

Tabel 4.9 Laju inflasi di per tahun [29]

Tahun	Laju Inflasi (%)
2000	6.88
2001	3.67
2002	4.33
2003	7.83
2004	7.44
2005	3.45
2006	3.83
2007	6.35
2008	4.25
2009	4.54
2010	6.96
2011	3.79
2012	4.3
2013	8.38
2014	8.36

Tahun	Laju Inflasi (%)
2015	2.24
2016	3.53

Pada Tabel 4.10 menampilkan data rata-rata suku bunga per tahun yang ada di Indonesia. Generalisasi objek penelitian dilakukan untuk mendapatkan data rata-rata suku bunga yang lebih konkrit.

Tabel 4.10 Rata-rata suku bunga per tahun [30]

Tahun	Suku Bunga (%)
2000	7.52
2001	7.46
2002	6.18
2003	6.53
2004	6.67
2005	5.89
2006	6.57
2007	7.45
2008	7.34
2009	6.4
2010	6.5
2011	6.58
2012	5.77
2013	6.48
2014	7.54
2015	7.53
2016	7.43

4.2 Identifikasi Variabel

Pengembangan pemanfaatan ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif pada penelitian ini berfokus pada kesuksesan proyek pembangunan PLTBG yang ada di Indonesia maupun negara lainnya. Dengan mengacu terhadap kesuksesan implementasi PLTBG yang ada, diharapkan dapat meningkatkan hasil produksi listrik untuk memenuhi kebutuhan rakyat Jawa Timur khususnya dalam memenuhi kebutuhan konsumsi listriknya secara mandiri.

Penelitian ini mencoba untuk memahami sudut pandang dari seorang pengusaha proyek pembangunan PLTBG agar memiliki ketertarikan dan kemudahan dalam melakukan pembangunan PLTBG di Provinsi Jawa Timur, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya ketertarikan dan kemudahan pengusaha tergantung dari kelayakan kondisi dari setiap aspek yang mempengaruhi jalannya usaha energi *biogas* meliputi kelayakan teknis, kelayakan infrastruktur, kelayakan geografis, aspek sosial, dan kelayakan ekonomi [31].

Tabel 4.11 Variabel kesuksesan proyek pembangkit listrik energi *biogas*

Variabel Signifikan	Parameter
Proyek Energi <i>Biogas</i>	Kelayakan Teknis
	Kelayakan Infrastruktur
	Kelayakan Geografis
	Kelayakan Ekonomi
	Dukungan Masyarakat
	Keputusan Investasi
Kapasitas Terpasang	Proyek Energi <i>Biogas</i>
Dukungan Masyarakat	Kebutuhan Listrik

4.2.1 Identifikasi Variabel Aspek Teknis

Aspek teknis merupakan salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam mengoptimalkan produksi listrik yang akan dihasilkan, untuk mengetahui kelayakan aspek teknis pada sebuah pembangkit listrik energi *biogas* adalah memperhatikan kelayakan biodigester yang dapat dilihat dari kondisi suhu dan keasaman *biodigester*. Karena semakin sesuai kondisi suhu dan keasaman yang ada pada *biodigester*, maka semakin optimal pula produksi *biogas* yang dihasilkan. Kedua adalah memperhatikan pemilihan bahan organik yang dimasukkan kedalam *biodigester*, bahan organik yang baik atau tidak dapat dilihat dari rasio C/N, kandungan padatan total (TS), dan kandungan padatan volatil (VS) yang dimiliki oleh setiap bahan organik [32].

Tabel 4.12 Variabel Aspek Teknik

Variabel Signifikan	Parameter
Kelayakan Teknis	Ketersediaan Energi <i>Biogas</i>
	Resiko Pemilihan Bahan Organik
	Kelayakan Biodigester
Resiko Pemilihan Bahan Organik	Rasio C/N
	Kandungan Padatan Total (TS)
	Kandungan Padatan Volatil (VS)
Kelayakan Biodigester	Kondisi Suhu
	Kondisi Keasaman

4.2.2 Identifikasi Variabel Aspek Infrastruktur

Aspek infrastruktur juga berperan dalam optimalisasi sebuah pembangkit listrik energi *biogas*, aspek infrastruktur berperan dalam memberikan kemudahan akses dalam mobilitas produksi energi listrik menggunakan *biogas*. Kelayakan infrastruktur

ditinjau dari dua hal utama yaitu ketersediaan alat transportasi dan kemudahan akses yang ada pada objek penelitian.

Tabel 4. 13 Variabel Aspek Infrastruktur

Variabel Signifikan	Parameter
Kelayakan Infrastruktur	Ketersediaan Alat Transportasi
	Kemudahan Akses

4.2.3 Identifikasi Variabel Aspek Geografis

Lokasi pembangunan sebuah PLTBG juga berdampak besar terhadap optimalisasi produksi listrik yang dilakukan. Hal tersebut dapat terjadi karena melihat dari kondisi wilayah tersebut dan kondisi cuaca yang ada di wilayah tersebut. Bagaimana tidak optimal tidaknya produksi energi *biogas* sangat bergantung pada suhu yang ada agar bakteri *anaerob* dapat bekerja secara optimal. Kondisi wilayah ditinjau dari ketinggian wilayah tersebut dan kondisi cuaca ditinjau dari curah hujan, suhu udara, dan kecepatan angin yang ada pada wilayah tersebut.

Tabel 4.14 Variabel Aspek Geografis

Variabel Signifikan	Parameter
Kelayakan Geografis	Kondisi Wilayah
	Kondisi Cuaca
Kondisi Wilayah	Ketinggian
Kondisi Cuaca	Curah Hujan
	Suhu Udara
	Kecepatan Angin

4.2.4 Identifikasi Variabel Aspek Sosial

Kebutuhan listrik merupakan salah satu faktor utama dikembangkanya pembangkit energi listrik alternatif yang ada di Provinsi Jawa Timur. Hal tersebut yang mendorong diperhitungkannya aspek sosial dalam pembangunan PLTBG di Provinsi Jawa Timur, aspek sosial ditinjau dari kesadaran lingkungan, kebutuhan listrik, dan kesepakatan ekonomi yang dilakukan oleh masyarakat dan pemegang proyek pembangunana PLTBG. Aspek sosial menjadi salah satu aspek penting yang harus dipertimbangkan karena aspek sosial memegang peranan penting terhadap penolakan atau diizinkanya sebuah PLTBG didirikan.

Tabel 4.15 Variabel Aspek Sosial

Variabel Signifikan	Parameter
Dukungan Masyarakat	Kesadaran Lingkungan
	Kebutuhan Listrik
	Kesepakatan Ekonomi

4.2.5 Identifikasi Variabel Aspek Ekonomi

Pembangunan PLTBG tidak akan pernah terlepas dari aspek kelayakan ekonomi yang akan mempengaruhinya. Aspek ekonomi berpengaruh sangat besar terhadap pembangunan PLTBG dilihat dari segi *payback period*, biaya proyek, kondisi moneter, dan keputusan investasi. Biaya proyek sendiri meliputi parameter biaya operasional, biaya infrastruktur, dan laju inflasi. Sedangkan *payback period* ditinjau dari parameter kapasitas PLTBG, harga listrik energi *biogas*, dan ketersediaan energi *biogas*. Untuk kondisi moneter ditinjau dari parameter laju inflasi, dan tingkat suku bunga. Dan keputusan investasi

ditinjau dari parameter kelayakan ekonomi, resiko ekonomi, dan kondisi moneter [27].

Tabel 4.16 Variabel Aspek Ekonomi

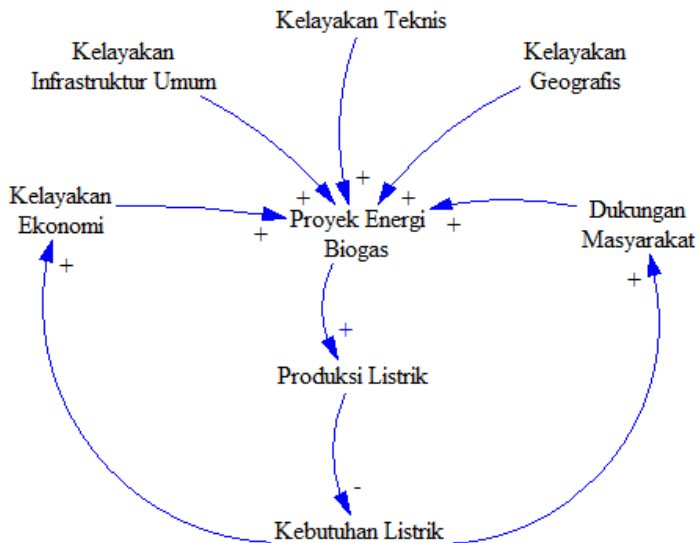
Variabel Signifikan	Parameter
Kelayakan Ekonomi	<i>Payback Period</i>
	Biaya Proyek
	Kondisi Moneter
	Keputusan Investasi
<i>Payback Period</i>	Kapasitas PLTBG
	Harga Listrik Energi <i>Biogas</i>
	Ketersediaan Energi <i>Biogas</i>
Biaya Proyek	Biaya Operasional
	Biaya Infrastruktur
	Laju Inflasi
Kondisi Moneter	Laju Inflasi
	Tingkat Suku Bunga
Keputusan Investasi	Kelayakan Ekonomi
	Resiko Ekonomi
	Kondisi Moneter

4.3 Causal Loop Diagram

Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana *causal loop diagram* dari sistem pengembangan ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif. Secara garis besar hubungan sebab akibat antar variabel yang mendukung pengembangan ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternative dikelompokkan menjadi lima aspek yaitu aspek teknis, aspek infrastruktur, aspek geografis, aspek sosial, dan aspek ekonomi.

4.3.1 Causal Loop Diagram Secara Umum

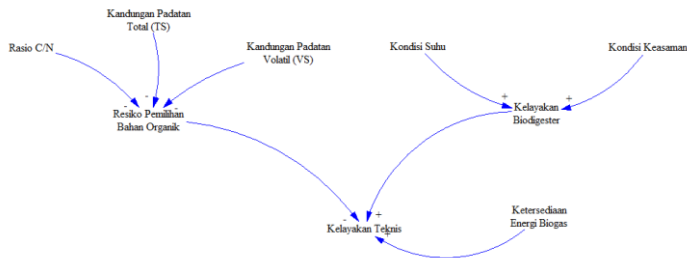
Terjadi sebuah *reinforce loop* pada sistem yang terdapat pada proyek energi *biogas* dimana mempengaruhi secara positif terhadap produksi listrik yang ada. Sedangkan produksi listrik berpengaruh secara negatif terhadap kebutuhan listrik. Kebutuhan listrik berdampak positif terhadap dukungan masyarakat dimana dukungan masyarakat sendiri berpengaruh positif terhadap proyek energi *biogas*. Begitupun dengan kelayakan infrastruktur, kelayakan teknis, dan kelayakan geografis juga berpengaruh positif terhadap proyek energi *biogas*.



Gambar 4.1 Causal loop diagram sistem secara umum

4.3.2 Causal Loop Diagram Aspek Teknis

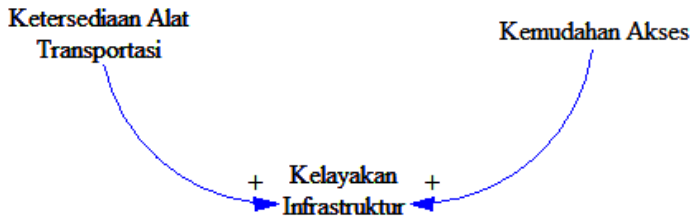
Kelayakan aspek teknis dapat ditinjau dari tiga variabel utama yaitu resiko pemilihan bahan organik, kelayakan biodigester yang digunakan, dan ketersediaan energi *biogas*. Variabel resiko pemilihan bahan organik ditentukan berdasarkan kondisi rasio C/N, kandungan padatan total (TS), dan kandungan padatan volatil (VS). Sedangkan variabel kelayakan *biodigester* ditentukan berdasarkan kondisi suhu dan kondisi keasaman yang ada dalam *biodigester* tersebut.



Gambar 4.2 Causal loop diagram aspek teknis

4.3.3 Causal Loop Diagram Aspek Infrastruktur

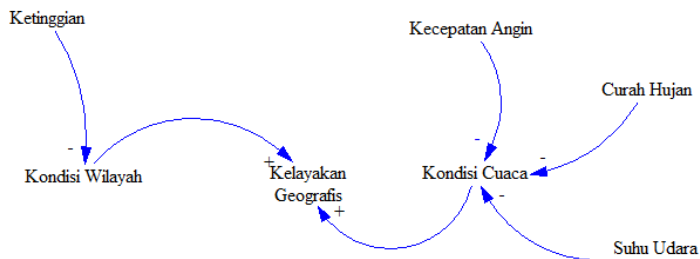
Kelayakan aspek infrastruktur dalam pembangunan PLTBG dapat ditinjau dari dua variabel utama yaitu ketersediaan alat transportasi dan kemudahan akses. Kedua hal tersebut harus ditinjau terlebih dahulu dalam membangun sebuah pembangkit listrik energi *biogas* untuk mengetahui seberapa besar kelayakan infrastruktur yang ada di wilayah tersebut. Apakah sudah dapat dikatakan layak untuk memberikan kemudahan akses dalam mobilitas nantinya.



Gambar 4.3 Causal loop diagram aspek infrastruktur

4.3.4 Causal Loop Diagram Aspek Geografis

Aspek geografis dalam pembangunan sebuah PLTBG ditinjau dari dua variabel utama yaitu kondisi wilayah yang ditinjau dari ketinggian wilayah tersebut. Dan kondisi cuaca yang ditinjau dari kecepatan angin, curah hujan, dan suhu udara. Kelayakan geografis suatu wilayah dalam membangun sebuah PLTBG juga berpengaruh besar terhadap hasil produksi energi *biogas* yang akan diproduksi nantinya.

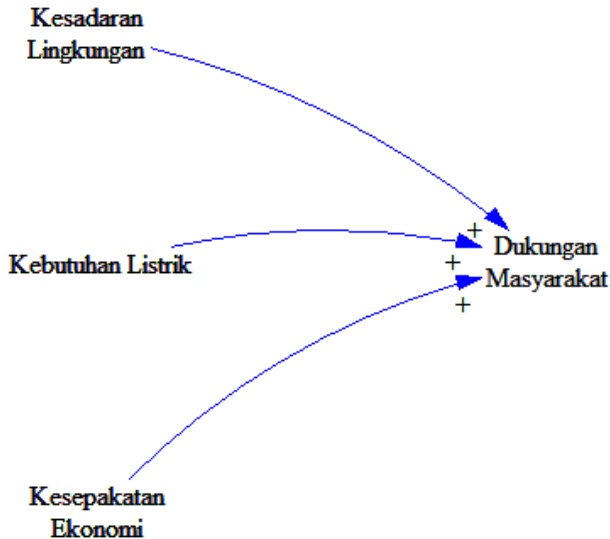


Gambar 4.4 Causal loop diagram aspek geografis

4.3.5 Causal Loop Diagram Aspek Sosial

Dukungan masyarakat ditinjau dari tiga variabel utama yaitu kesadaran lingkungan, kebutuhan listrik, dan kesepakatan

ekonomi. Dimana ketiga variabel ini yang menentukan apakah PLTB ini memang dibutuhkan oleh masyarakat dalam menjawab pemenuhan kebutuhan listrik yang ada.

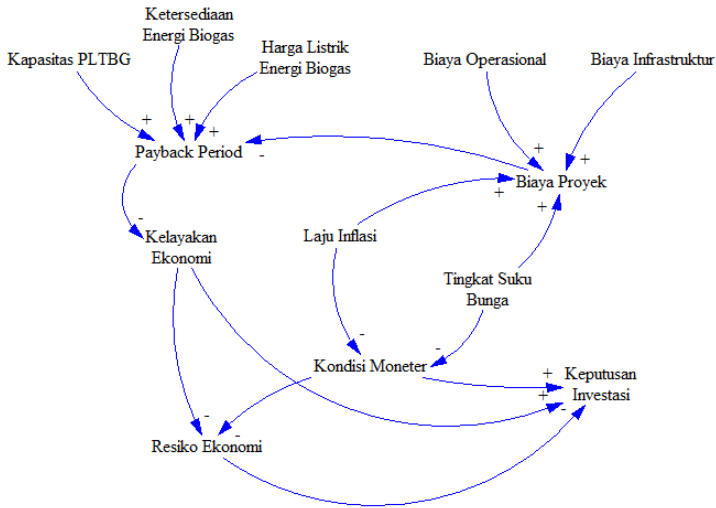


Gambar 4.5 Causal loop diagram aspek sosial

4.3.6 Causal Loop Diagram Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi ditinjau dari berbagai aspek utama seperti *payback period*, biaya proyek, kondisi moneter, dan keputusan investasi dimana hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6. *Payback period* dihitung dari kapasitas PLTBG, ketersediaan energi *biogas*, harga listrik energi *biogas*, dan biaya proyek. Untuk biaya proyek sendiri dihitung dari biaya operasional, biaya infrastruktur, dan laju inflasi. Sedangkan kondisi moneter ditinjau dari kondisi laju inflasi dan tingkat suku bunga. Kelayakan aspek ekonomi akan berpengaruh besar terhadap

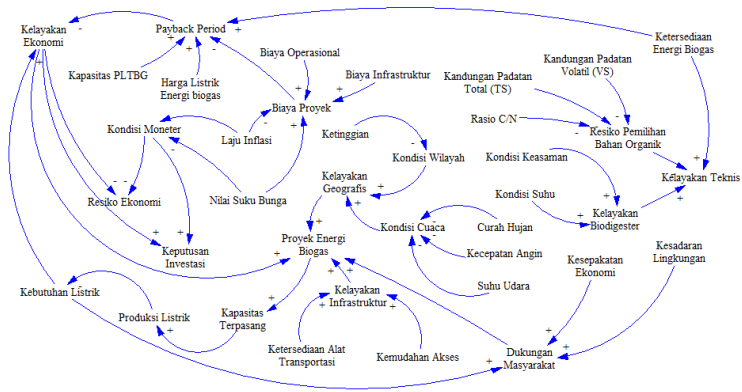
keputusan sebuah investasi yang akan dilakukan seseorang terkait pembangunan sebuah PLTBG.



Gambar 4.6 Causal loop diagram aspek ekonomi

4.3.7 Causal Loop Diagram Secara Keseluruhan

Setelah pembuatan *causal loop diagram* dari setiap sub-sistem yang ada, maka selanjutnya diagram setiap subsistem digabungkan menjadi sebuah *causal loop diagram* secara keseluruhan sistem untuk dipahami secara keseluruhan.



Gambar 4.7 Causal loop diagram secara keseluruhan

Berdasarkan *causal loop diagram* sistem secara keseluruhan dapat dilihat setiap aspek mulai dari aspek teknis, aspek infrastruktur, aspek geografis, aspek sosial, dan aspek ekonomi semua akan mempengaruhi kesuksesan proyek energi *biogas* yang akan dilakukan. Dimana setiap aspek akan memiliki perannya masing-masing dan besaran dampaknya masing-masing terhadap kesuksesan proyek energi *biogas*.

4.4 Stock Flows Diagram

Stock flow diagram pada penelitian ini dibuat menggunakan aplikasi Vensim PLE. Karena target ketercapaian pemerintah Indonesia dalam memenuhi kebutuhan listrik nasional menggunakan energi terbarukan sebesar 5% pada tahun 2025, sedangkan data yang diperoleh dimulai pada tahun 2000 maka model disimulasikan pada *time step* berdurasi 25 dengan satuan tahun. Spesifikasi *time bounds* untuk model yang dikembangkan dijelaskan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Time Bounds pada Model

Variabel	Nilai	Keterangan
<i>INITIAL TIME</i>	2000	Waktu awal simulasi tahun 2000
<i>FINAL TIME</i>	2025	Waktu akhir simulasi tahun 2025
<i>TIME STEP</i>	1	Perhitungan simulasi dilakukan per satuan <i>time step</i>
<i>Save Result</i>	<i>Every TIME STEP</i>	Penyimpanan hasil dilakukan setiap <i>time step</i>
<i>Unit</i>	<i>Year</i>	Per satu <i>time step</i> memiliki satuan tahun

Pemanfaatan ketersediaan energi *biogas* memiliki kondisi dan kemungkinan yang acak karena berhubungan dengan banyak sekali faktor yang dapat mempengaruhinya. Sebagian data yang didapatkan tidak memiliki pola, baik positif maupun pola negatif. Dalam menyusun model sistem pemanfaatan ketersediaan energi *biogas* ini, penulis memanfaatkan fungsi *RANDOM NORMAL*, *RANDOM UNIFORM* dan *Lookup* agar pemodelan lebih representatif. Untuk data-data yang tidak berpola maka akan dibangkitkan menggunakan *random normal*. Kemudian data-data yang hanya memiliki batas bawah dan atas akan dibangkitkan menggunakan *random uniform*. Dan untuk data-data yang ingin dibangkitkan sesuai data aslinya menggunakan *Lookup*. Keputusan-keputusan yang berdasarkan kondisional menggunakan fungsi *IF THEN ELSE*, Tabel 4.18 merupakan penjelasan fungsi-fungsi yang sering digunakan pada ekuasi model nantinya.

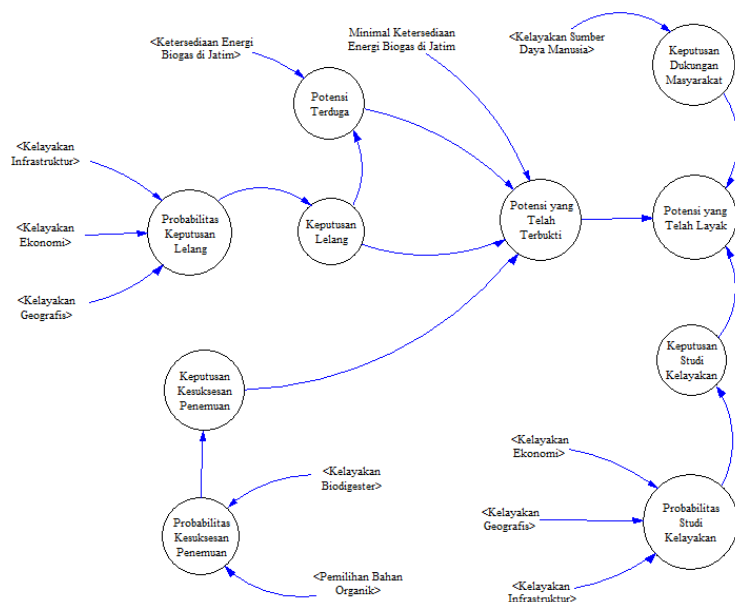
Tabel 4.18 Penjelasan beberapa fungsi pada ekuasi model

Nama	Ekuasi	Fungsi
<i>Random Normal</i>	<i>RANDOM NORMAL(min, max, mean, std dev, seed)</i>	Digunakan untuk membangkitkan nilai random
<i>Random Uniform</i>	<i>RANDOM UNIFORM(min, max, seed)</i>	Digunakan untuk membangkitkan nilai random dimana data hanya memiliki batas minimal dan batas maksimal
<i>Lookup</i>	<i>(year1, value1), (year2, value2), ...etc</i>	Digunakan untuk membangkitkan nilai berdasarkan nilai data asli yang dimiliki.
<i>if then else</i>	<i>IF THEN ELSE(kondisi, nilai jika kondisi benar, nilai jika kondisi salah)</i>	Digunakan untuk menentukan keputusan sesuai dengan hasil kondisi

4.4.1 *Stock Flows Diagram* Potensi yang Telah Layak

Potensi yang telah layak pada sebuah rencana pembangunan pembangkit listrik energi *biogas* di suatu wilayah di Provinsi Jawa Timur dapat ditinjau dari tiga variabel utama yaitu variabel keputusan dukungan masyarakat, variabel potensi yang telah terbukti, dan variabel keputusan studi kelayakan. Dimana pada *auxiliary* “Potensi yang Telah Layak” ini menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* yang digunakan untuk menerapkan kondisi yang ada, yaitu jika variabel keputusan dukungan masyarakat bernilai satu dan variabel keputusan studi kelayakan

bernilai satu, maka nilai yang dihasilkan ada nilai dari variabel potensi yang telah terbukti, jika tidak bernilai nol.



Gambar 4.8 Stock flows diagram potensi yang telah layak

Tabel 4.19 Auxiliary potensi yang telah layak

Nama	Potensi yang Telah Layak	Satuan	MWh
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Keputusan dukungan masyarakat Potensi yang telah terbukti Keputusan studi kelayakan
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Keputusan Dukungan Masyarakat=1 :AND: Keputusan Studi Kelayakan=1 , Potensi yang Telah Terbukti , 0)			

Pada *auxiliary* “Keputusan Dukungan Masyarakat” digunakan untuk menilai keputusan dukungan masyarakat terhadap rencana pemanfaatan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif dengan nilai “satu, nol” menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE*. Bernilai satu jika variabel kelayakan sumber daya manusia bernilai lebih besar dari 50% dan bernilai nol jika nilai variabel kelayakan sumber daya manusianya kurang dari atau sama dengan 50%.

Tabel 4.20 Auxiliary keputusan dukungan masyarakat

Nama	Keputusan Dukungan Masyarakat	Satuan	-
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	• Kelayakan sumber daya manusia
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Kelayakan Sumber Daya Manusia>50 , 1 , 0)			

Sedangkan *auxiliary* “Keputusan Studi Kelayakan” digunakan untuk menilai keputusan studi kelayakan yang dilihat dari variabel probabilitas studi kelayakan dengan nilai “satu, nol” menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE*. Bernilai satu jika variabel probabilitas studi kelayakan bernilai lebih besar dari 50% dan bernilai nol jika nilai variabel probabilitas studi kelayakan kurang dari atau sama dengan 50%.

Tabel 4.21 Auxiliary keputusan studi kelayakan

Nama	Keputusan Studi Kelayakan	Satuan	-
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Probabilitas studi kelayakan
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Probabilitas Studi Kelayakan>50 , 1 , 0)			

Untuk *auxiliary* “Probabilitas Studi Kelayakan” digunakan untuk mengetahui besaran persentase dari studi kelayakan yang ditinjau dari variabel kelayakan ekonomi, kelayakan geografis, dan kelayakan infrastruktur. Dimana ketiga variabel tersebut memiliki pengaruh nilai yang sama besar yaitu 33%.

Tabel 4.22 Auxiliary probabilitas studi kelayakan

Nama	Probabilitas Studi Kelayakan	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Kelayakan ekonomi • Kelayakan geografis • Kelayakan infrastruktur
Ekuasi			
$(Kelayakan\ Ekonomi * (33/100)) + (Kelayakan\ Geografis * (33/100)) + (Kelayakan\ Infrastruktur * (33/100))$			

Auxiliary “Potensi yang Telah Terbukti” digunakan untuk mengetahui seberapa besar potensi yang dapat dibuktikan dilihat dari variabel minimal ketersediaan energi *biogas* di Jatim, variabel potensi terduga, variabel keputusan lelang, dan variabel keputusan kesuksesan penemuan. Pada *auxiliary* ini

menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi yang ada. Untuk *constant* “Minimal Ketersediaan Energi *Biogas* di *Jatim*” memiliki nilai 9568890 MWh/tahun.

Tabel 4.23 Auxiliary potensi yang telah terbukti

Nama	Potensi yang Telah Terbukti	Satuan	MWh
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal ketersediaan energi <i>biogas</i> di <i>jatim</i> • Potensi terduga • Keputusan lelang • Keputusan kesuksesan penemuan
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Keputusan Lelang=1 :AND: Keputusan Kesuksesan Penemuan=1 , Potensi Terduga , IF THEN ELSE(Keputusan Lelang=1 :AND: Keputusan Kesuksesan Penemuan=0 , Minimal Ketersediaan Energi Biogas di <i>Jatim</i> , IF THEN ELSE(Keputusan Lelang=0 :AND: Keputusan Kesuksesan Penemuan=0 , 0 , 0)))			

Pada *auxiliary* “Potensi Terduga” digunakan untuk mencari nilai potensi terduga dari variabel ketersediaan energi dan variabel keputusan lelang menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE*. Dimana jika keputusan lelang bernilai lebih dari nol maka nilai yang dihasilkan sesuai dengan variable ketersediaan energi *biogas* di *Jatim*, jika tidak maka akan menghasilkan nilai nol.

Tabel 4.24 Auxiliary potensi terduga

Nama	Potensi Terduga	Satuan	MWh
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Ketersediaan energi biogas di jatim • Keputusan lelang
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Keputusan Lelang>0,Ketersediaan Energi Biogas di Jatim,0)			

Pada *auxiliary* “Keputusan Lelang” digunakan untuk mengetahui nilai keputusan lelang yang bersifat “satu, nol” menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE*. Bernilai satu jika variabel probabilitas keputusan lelang bernilai lebih besar dari 50% dan bernilai nol jika nilai variabel probabilitas keputusan lelang kurang dari atau sama dengan 50%.

Tabel 4.25 Auxiliary keputusan lelang

Nama	Keputusan Lelang	Satuan	-
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Probabilitas keputusan lelang
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Probabilitas Keputusan Lelang>50 , 1 , 0)			

Auxiliary “Probabilitas Keputusan Lelang” digunakan untuk mengetahui besaran persentase sebuah probabilitas keputusan lelang yang ditinjau dari variabel kelayakan infrastruktur, variabel kelayakan ekonomi, dan variabel kelayakan geografis. Dimana ketiga variabel tersebut memiliki besaran nilai yang sama yaitu 33%.

Tabel 4.26 Auxiliary probabilitas keputusan lelang

Nama	Probabilitas Keputusan Lelang	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Kelayakan infrastruktur • Kelayakan ekonomi • Kelayakan geografis
Ekuasi			
$((\text{Kelayakan Ekonomi}) * (33/100)) + ((\text{Kelayakan Geografis}) * (33/100)) + ((\text{Kelayakan Infrastruktur}) * (33/100))$			

Sedangkan untuk *auxiliary* “Keputusan Kesuksesan Penemuan” digunakan untuk mengetahui nilai kesuksesan penemuan yang telah dilakukan yang ditinjau dari variabel probabilitas kesuksesan penemuan menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi “satu, nol”. Bernilai satu jika variabel probabilitas kesuksesan penemuan bernilai lebih besar dari 50% dan bernilai nol jika nilai variabel probabilitas kesuksesan penemuan kurang dari atau sama dengan 50%.

Tabel 4.27 Auxiliary keputusan kesuksesan penemuan

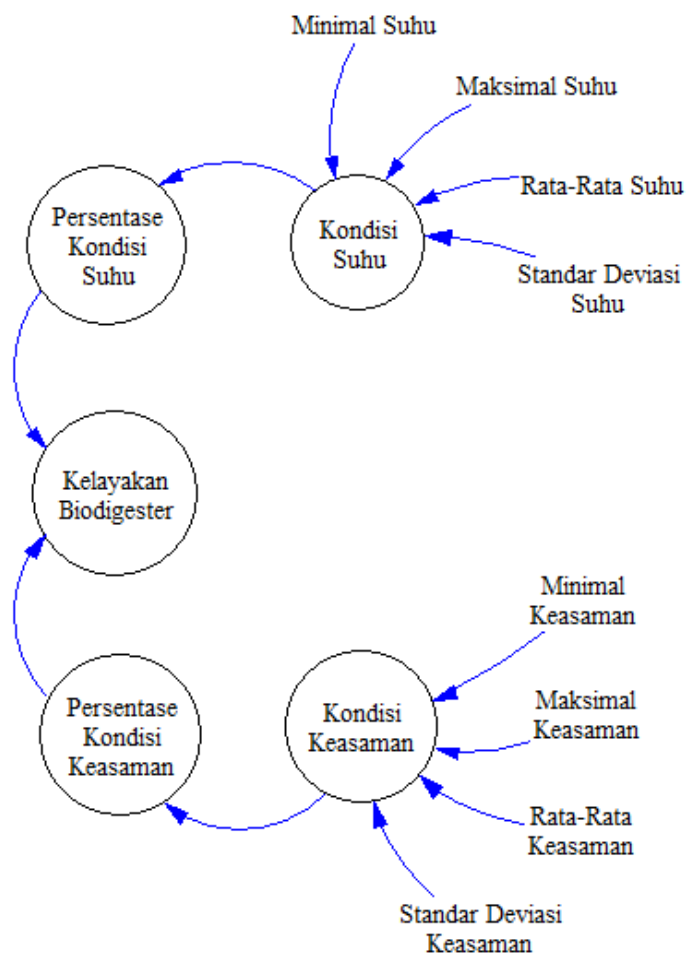
Nama	Keputusan Kesuksesan Penemuan	Satuan	-
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Probabilitas kesuksesan penemuan
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Probabilitas Kesuksesan Penemuan > 50 , 1 , 0)			

Auxiliary “Probabilitas Kesuksesan Penemuan” itu sendiri ditinjau dari dua variabel utama yaitu variabel kelayakan *biodigester* dan variabel pemilihan bahan organik. Dimana kedua variabel tersebut memiliki pengaruh nilai yang sama besar yaitu 50%.

Tabel 4.28 *Auxiliary* probabilitas kesuksesan penemuan

Nama	Probabilitas Kesuksesan Penemuan	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Kelayakan <i>biodigester</i> • Pemilihan bahan organik
Ekuasi			
(Pemilihan Bahan Organik*50/100) + (Kelayakan Biodigester*50/100)			

Auxiliary “Kelayakan *Biodigester*” digunakan untuk mengetahui besaran kelayakan *biodigester* yang ditinjau dari dua variabel, yaitu variabel persentase kondisi suhu dan persentase kondisi keasaman. Dimana pada *auxiliary* ini memiliki pengaruh besaran nilai yang sama yaitu 50%.



Gambar 4.9 Stock flows diagram kelayakan biodigester

Tabel 4.29 Auxiliary kelayakan biodigester

Nama	Kelayakan Biodigester	Satuan	Persen
Tipe	Auxiliary	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Persentase kondisi suhu

			• Persentase kondisi keasaman
Ekuasi			
$(\text{Persentasi Kondisi Suhu} * 50 / 100) + (\text{Persentase Kondisi Keasaman} * 50 / 100)$			

Untuk *auxiliary* “Persentase Kondisi Suhu” digunakan untuk mengukur nilai persentase rata-rata suhu *biodigester* yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dimana kondisinya diterapkan menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* dan dibagi menjadi tiga kondisi yaitu:

- Kondisi suhu baik, jika suhu memiliki nilai lebih dari sama dengan 35°C dan kurang dari sama dengan 45°C.
- Kondisi suhu cukup, jika suhu memiliki nilai kurang dari 35°C.
- Kondisi suhu buruk, jika suhu memiliki nilai lebih dari 45°C [32].

Untuk merubah nilai kondisi tersebut menjadi nilai persentase, maka dibuat batasan untuk nilai persentase yang diterapkan. Dan Batasan tersebut akan dibangkitkan secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM*.

- 0% sampai 35% untuk kondisi suhu buruk.
- 36% sampai 70% untuk kondisi suhu cukup.
- 71% sampai 100% untuk kondisi suhu baik.

Tabel 4.30 Auxiliary persentase kondisi suhu

Nama	Persentase Kondisi Suhu	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	• Kondisi suhu

Ekuasi
IF THEN ELSE(Kondisi Suhu>=35:AND:Kondisi Suhu<=45 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Kondisi Suhu<35 , RANDOM UNIFORM(36 , 70 , 0) , IF THEN ELSE(Kondisi Suhu>45 , RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))

Sedangkan *auxiliary* “Kondisi Suhu” digunakan untuk membangkitkan kondisi suhu *biodigester* per tahun yang ada di Provinsi Jawa Timur menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* untuk membangkitkan nilai secara acak dari variabel minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi suhu.

Tabel 4.31 Auxiliary kondisi suhu

Nama	Kondisi Suhu	Satuan	<i>Celcius</i>
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal suhu • Maksimal suhu • Rata-rata suhu • Standar deviasi suhu
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Suhu , Maksimal Suhu , "Rata-Rata Suhu" , Standar Deviasi Suhu , 0)			

Tabel 4.32 Data kondisi suhu

Kondisi Suhu (<i>Celcius</i>)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	22	34	30.17	3.93

Auxiliary “Persentase Kondisi Keasaman” digunakan untuk mengukur nilai persentase rata-rata kondisi keasaman *biodigester* yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dimana kondisinya diterapkan menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* dan dibagi menjadi tiga kondisi yaitu:

- Kondisi keasaman baik, jika memiliki keasaman dengan pH lebih dari sama dengan 6.6 dan kurang dari sama dengan 8.
- Kondisi keasaman cukup, jika memiliki keasaman dengan pH kurang dari 6.6.
- Kondisi keasaman buruk, jika memiliki keasaman dengan pH lebih dari 8 [32].

Untuk merubah nilai kondisi tersebut menjadi nilai persentase, maka dibuat batasan untuk nilai persentase yang diterapkan. Dan Batasan tersebut akan dibangkitkan secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM*.

- 0% sampai 35% untuk kondisi keasaman buruk.
- 36% sampai 70% untuk kondisi keasaman cukup.
- 71% sampai 100% untuk kondisi keasaman baik.

Tabel 4.33 *Auxiliary* persentase kondisi keasaman

Nama	Persentase Kondisi Keasaman	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	• Kondisi keasaman
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Kondisi Keasaman>=6.6:AND:Kondisi Keasaman<=8 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Kondisi Keasaman<6.6 , RANDOM UNIFORM(36 , 70 , 0) , IF THEN ELSE(Kondisi Keasaman>8 , RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))			

Sedangkan *auxiliary* “Kondisi Keasaman” digunakan untuk membangkitkan kondisi keasaman *biodigester* per tahun yang ada di Provinsi Jawa Timur menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* untuk membangkitkan nilai secara acak dari variabel minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi keasaman.

Tabel 4.34 Auxiliary kondisi keasaman

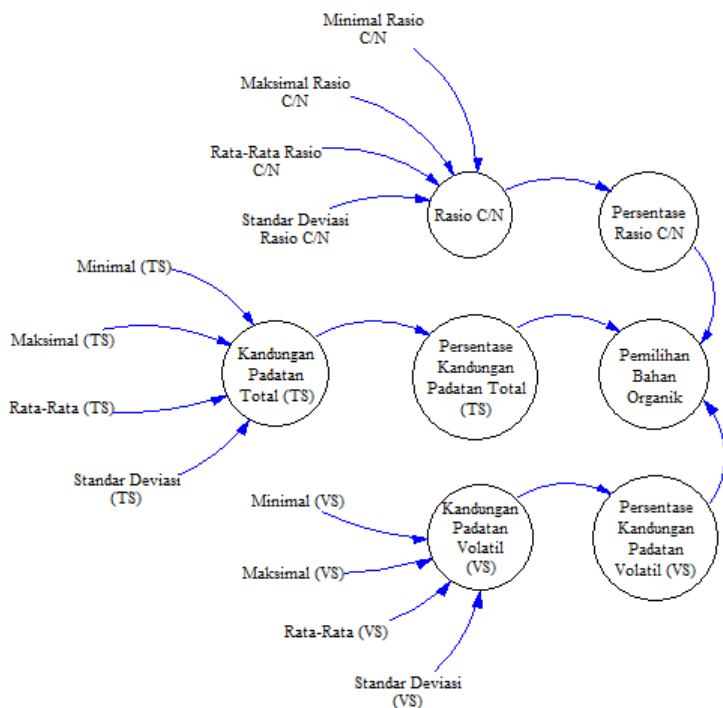
Nama	Kondisi Keasaman	Satuan	pH
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal keasaman • Maksimal keasaman • Rata-rata keasaman • Standar deviasi keasaman
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Keasaman , Maksimal Keasaman , "Rata-Rata Keasaman" , Standar Deviasi Keasaman , 0)			

Tabel 4.35 Data kondisi keasaman

Kondisi Keasaman (pH)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	6.6	8	7.15	0.52

Sedangkan *auxiliary* “Pemilihan Bahan Organik” digunakan untuk mengetahui besaran persentase kualitas pemilihan bahan organik yang sering digunakan sebagai pembangkit energi listrik di Provinsi Jawa Timur. Dimana *auxiliary* ini dapat ditinjau dari tiga variabel, yaitu variabel persentase rasio C/N, variabel persentase kandungan padatan total (TS), dan variabel persentase kandungan padatan volatile (VS). Dimana

ketiga variabel tersebut memiliki pengaruh besaran yang sama sebesar 33%.



Gambar 4.10 Stock flows diagram pemilihan bahan organik

Tabel 4.36 Auxiliary pemilihan bahan organik

Nama	Pemilihan Bahan Organik	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Persentase rasio C/N • Persentase kandungan padatan total (TS)

			<ul style="list-style-type: none"> Persentase kandungan padatan volatile (VS)
Ekuasi			
("Persentase	Kandungan	Padatan	Total
(TS)"*33/100)+("Persentase	Kandungan	Padatan	Volatil
(VS)"*33/100)+("Persentase Rasio C/N"*33/100)			

Auxiliary “Persentase Rasio C/N” digunakan untuk mengetahui nilai persentase rasio C/N yang biasa digunakan dalam proses *biodigester* yang ada. Pada *auxiliary* ini digunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi yang ada, yaitu:

- Kondisi rasio C/N baik, jika memiliki nilai C/N lebih dari sama dengan 20 dan kurang dari sama dengan 30.
- Kondisi rasio C/N cukup, jika memiliki nilai C/N lebih dari 30.
- Kondisi rasio C/N buruk jika memiliki nilai C/N kurang dari 20 [32].

Untuk merubah nilai kondisi tersebut menjadi nilai persentase, maka dibuat batasan untuk nilai persentase yang diterapkan. Dan batasan tersebut akan dibangkitkan secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM*.

- 0% sampai 35% untuk kondisi rasio C/N buruk.
- 36% sampai 70% untuk kondisi rasio C/N cukup.
- 71% sampai 100% untuk kondisi rasio C/N baik.

Tabel 4.37 *Auxiliary* persentase rasio C/N

Nama	Persentase Rasio C/N	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Rasio C/N

Ekuasi
IF THEN ELSE("Rasio C/N">=20:AND:"Rasio C/N"<=30 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE("Rasio C/N">30 , RANDOM UNIFORM(36 , 70 , 0) , IF THEN ELSE("Rasio C/N"<20 , RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))

Untuk *auxiliary* “Rasio C/N” digunakan untuk membangkitkan nilai rasio C/N secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* dari nilai variabel minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi rasio C/N.

Tabel 4.38 Auxiliary rasio C/N

Nama	Rasio C/N	Satuan	C/N
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Minimal rasio C/N Maksimal rasio C/N Rata-rata rasio C/N Standar deviasi rasio C/N
Ekuasi			
RANDOM NORMAL("Minimal Rasio C/N" , "Maksimal Rasio C/N" , "Rata-Rata Rasio C/N" , "Standar Deviasi Rasio C/N" , 0)			

Tabel 4.39 Data rasio C/N

Rasio C/N (C/N)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	20	30	25	4.08

Sedangkan *auxiliary* “Persentase Kandungan Padatan Total (TS)” digunakan untuk mengetahui nilai persentase kandungan padatan total yang biasa digunakan dalam proses *biodigester*

yang ada. Pada *auxiliary* ini digunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi yang ada, yaitu:

- Kondisi kandungan TS baik, jika memiliki nilai persentase lebih besar dari sama dengan 10% dan lebih kecil dari sama dengan 15%.
- Kondisi kandungan TS cukup, jika memiliki nilai persentase lebih kecil dari 10%
- Kondisi kandungan TS buruk, jika memiliki nilai persentase lebih besar dari 15% [32].

Untuk merubah nilai kondisi tersebut menjadi nilai persentase, maka dibuat batasan untuk nilai persentase yang diterapkan. Dan batasan tersebut akan dibangkitkan secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM*.

- 0% sampai 35% untuk kondisi kandungan TS buruk.
- 36% sampai 70% untuk kondisi kandungan TS cukup.
- 71% sampai 100% untuk kondisi kandungan TS baik.

Tabel 4.40 *Auxiliary* persentase kandungan padatan total (TS)

Nama	Persentase Kandungan Padatan Total (TS)	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	• Kandungan padatan total (TS)
Ekuasi			
IF THEN ELSE("Kandungan Padatan Total (TS)">=10:AND:"Kandungan Padatan Total (TS)"<=15 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE("Kandungan Padatan Total (TS)"<10 , RANDOM UNIFORM(36 , 70 , 0) , IF THEN ELSE("Kandungan Padatan Total (TS)">15 , RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))			

Auxiliary “Kandungan Padatan Total (TS)” digunakan untuk membangkitkan nilai kandungan padatan total (TS) secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* dari nilai variabel minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi (TS).

Tabel 4.41 *Auxiliary* kandungan padatan total (TS)

Nama	Kandungan Padatan Total (TS)	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal (TS) • Maksimal (TS) • Rata-rata (TS) • Standar deviasi (TS)
Ekuasi			
RANDOM NORMAL("Minimal (TS)" , "Maksimal (TS)" , "Rata-Rata (TS)" , "Standar Deviasi (TS)" , 0)			

Tabel 4.42 Data kandungan padatan total (TS)

Kandungan Padatan Total (Persen)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	10	15	12.5	2.04

Sedangkan *auxiliary* “Persentase Kandungan Padatan Volatil (VS)” digunakan untuk mengetahui nilai persentase kandungan padatan volatil yang biasa digunakan dalam proses *biodigester* yang ada. Pada *auxiliary* ini digunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi yang ada, yaitu:

- Kondisi kandungan VS baik, jika memiliki nilai persentase lebih besar dari sama dengan 8% dan lebih kecil dari sama dengan 10%.
- Kondisi kandungan VS cukup, jika memiliki nilai persentase lebih kecil dari 8%.
- Kondisi kandungan VS buruk, jika memiliki nilai persentase lebih besar dari 10% [32].

Untuk merubah nilai kondisi tersebut menjadi nilai persentase, maka dibuat batasan untuk nilai persentase yang diterapkan. Dan batasan tersebut akan dibangkitkan secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM*.

- 0% sampai 35% untuk kondisi kandungan VS buruk.
- 36% sampai 70% untuk kondisi kandungan VS cukup.
- 71% sampai 100% untuk kondisi kandungan VS baik.

Tabel 4.43 Auxiliary persentase kandungan padatan volatil (VS)

Nama	Persentase Kandungan Padatan Volatil (VS)	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	• Kandungan padatan volatile (VS)
Ekuasi			
IF THEN ELSE("Kandungan Padatan Volatil (VS)">=8:AND:"Kandungan Padatan Volatil (VS)"<=10 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE("Kandungan Padatan Volatil (VS)"<8 , RANDOM UNIFORM(36 , 70 , 0) , IF THEN ELSE("Kandungan Padatan Volatil (VS)">10 , RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))			

Sedangkan *auxiliary* “Kandungan Padatan Volatil (VS)” digunakan untuk membangkitkan nilai kandungan padatan volatil (VS) secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* dari nilai variabel minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi (VS).

Tabel 4.44 *Auxiliary* kandungan padatan volatil (VS)

Nama	Kandungan Padatan Volatil (VS)	Satuan	Persen
Type	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal (VS) • Maksimal (VS) • Rata-rata (VS) • Standar deviasi (VS)
Ekuasi			
RANDOM NORMAL("Minimal (VS)" , "Maksimal (VS)" , "Rata-Rata (VS)" , "Standar Deviasi (VS)" , 0)			

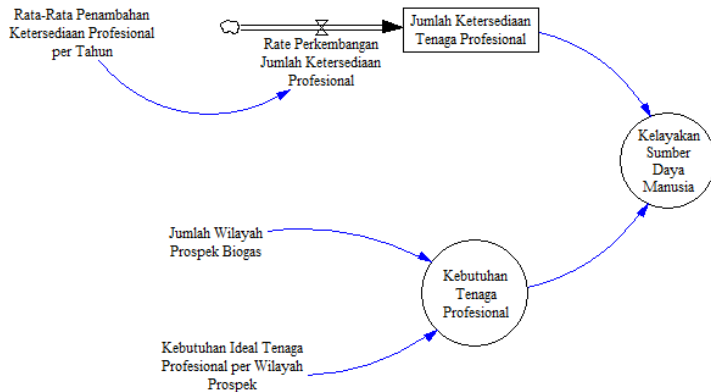
Tabel 4.45 Data kandungan padatan volatil (VS)

Kandungan Padatan Volatil (Persen)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	8	10	9	0.82

4.4.2 *Stock Flows Diagram* Kelayakan Sumber Daya Manusia

Aspek kelayakan sumber daya manusia dalam rencana pembangunan PLTBG disuatu wilayah ditinjau dari dua variabel yaitu jumlah ketersediaan tenaga profesional dan kebutuhan tenaga profesional. Dimana pada *auxiliary*

“Kelayakan Sumber Daya Manusia” menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan batasan nilai persentase dari pembagian jumlah ketersediaan tenaga profesional dengan kebutuhan tenaga profesional.



Gambar 4.11 *Stock flows diagram* kelayakan sumber daya manusia

Tabel 4.46 *Auxiliary* kelayakan sumber daya manusia

Nama	Kelayakan Sumber Daya Manusia	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Jumlah ketersediaan tenaga profesional Kebutuhan tenaga profesional
Ekuasi			
IF THEN ELSE((Jumlah Ketersediaan Tenaga Profesional/Kebutuhan Tenaga Profesional)*100>100 , 100 , (Jumlah Ketersediaan Tenaga Profesional/Kebutuhan Tenaga Profesional)*100)			

Pada level “Jumlah Ketersediaan Tenaga Profesional” digunakan untuk menghitung pertambahan jumlah ketersediaan tenaga profesional yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dimana pada tahun 2000 terdapat 45 tenaga profesional yang dimiliki oleh Provinsi Jawa Timur [33].

Tabel 4.47 Level jumlah ketersediaan tenaga profesional

Nama	Jumlah Ketersediaan Tenaga Profesional	Satuan	Profesional
Tipe	Level	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Rate</i> perkembangan jumlah ketersediaan profesional
Nilai Awal			
Tenaga Profesional yang Dimiliki			
Ekuasi			
Rate Perkembangan Jumlah Ketersediaan Profesional			

Untuk *rate* “Perkembangan Jumlah Ketersediaan Tenaga Profesional” digunakan untuk mengetahui jumlah kenaikan tenaga profesional per tahun yang ada di Provinsi Jawa Timur, dimana setiap tahunnya memiliki penambahan sebanyak 5 tenaga profesional [33].

Tabel 4.48 Rate perkembangan jumlah ketersediaan tenaga profesional

Nama	<i>Rate</i> Perkembangan Jumlah Ketersediaan Tenaga Profesional	Satuan	Profesional
-------------	---	---------------	-------------

Tipe	<i>Rate</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Rata-rata penambahan ketersediaan profesional per tahun
Ekuasi			
"Rata-Rata Penambahan Ketersediaan Profesional per Tahun"			

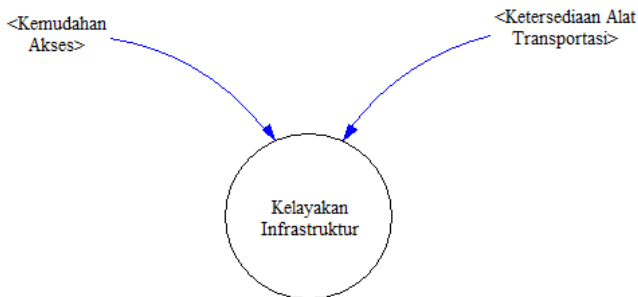
Sedangkan untuk *auxiliary* “Kebutuhan Tenaga Profesional” digunakan untuk mengetahui minimal jumlah kebutuhan tenaga profesional yang ada di Provinsi Jawa Timur untuk membangun sebuah PLTBG. Dimana nilai tersebut didapat dari perkalian kebutuhan ideal tenaga profesional per wilayah prospek dengan jumlah ideal tenaga profesional per wilayah prospek. Dimana jumlah wilayah prospek *biogas* sebanyak 19 wilayah yang dilihat dari ketersediaan energi *biogas* yang memiliki nilai diatas nilai rata-rata ketersediaan *biogas* disetiap wilayah yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dan kebutuhan ideal tenaga profesional per wilayah prospek sebanyak 10 orang [33].

Tabel 4.49 Auxiliary kebutuhan tenaga profesional

Nama	Kebutuhan Tenaga Profesional	Satuan	Profesional
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah wilayah prospek <i>biogas</i> • Kebutuhan ideal tenaga profesional per wilayah prospek
Ekuasi			
Kebutuhan Ideal Tenaga Profesional per Wilayah Prospek*Jumlah Wilayah Prospek Biogas			

4.4.3 *Stock Flows Diagram* Kelayakan Infrastruktur

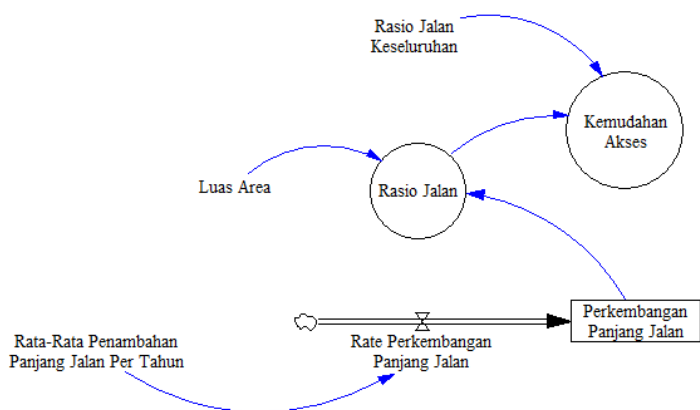
Kelayakan infrastruktur dalam pembangunan sebuah PLTBG di Provinsi Jawa Timur ditinjau dari dua variabel yaitu variabel kemudahan akses dan variabel ketersediaan alat transportasi. Kedua variabel tersebut memiliki besaran bobot yang sama dalam mempengaruhi kelayakan infrastruktur, dimana masing-masing memiliki bobot sebesar 50%. Pada *auxiliary* “Kelayakan Infrastruktur” menggunakan ekuasi perkalian dan penjumlahan terhadap nilai persentase yang digunakan.



Gambar 4.12 *Stock flows diagram* kelayakan infrastruktur

Tabel 4.50 *Auxiliary* kelayakan infrastruktur

Nama	Kelayakan Infrastruktur	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Kemudahan akses • Ketersediaan alat transportasi
Ekuasi			
(Kemudahan Akses*(50/100))+(Ketersediaan Alat Transportasi*(50/100))			



Gambar 4.13 Stock flows diagram kemudahan akses

Tabel 4.51 Auxiliary kemudahan akses

Nama	Kemudahan Akses	Satuan	Persen
Tipe	Auxiliary	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Rasio jalan Rasio jalan keseluruhan
Ekuasi			
IF THEN ELSE(((Rasio Jalan/Rasio Jalan Keseluruhan)*100)>100 , 100 , (Rasio Jalan/Rasio Jalan Keseluruhan)*100)			

Untuk *auxiliary* “Rasio Jalan” digunakan untuk mendapatkan nilai rasio jalan dari perbandingan perkembangan panjang jalan di Provinsi Jawa Timur dan luas area yang dibutuhkan untuk membangun sebuah PLTBG. Luas area sebuah PLTBG rata-rata seluas 34.36 km².

Tabel 4.52 *Auxiliary* rasio jalan

Nama	Rasio Jalan	Satuan	km/km ²
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Luas area • Perkembangan panjang jalan
Ekuasi			
Perkembangan Panjang Jalan/Luas Area			

Sedangkan untuk level “Perkembangan Panjang Jalan” digunakan untuk menghitung jumlah panjang jalan di Provinsi Jawa Timur per tahunnya dari *rate* perkembangan jalan per tahun. Dimana panjang jalan awal di Provinsi Jawa Timur adalah 26202 km [34].

Tabel 4.53 Perkembangan panjang jalan

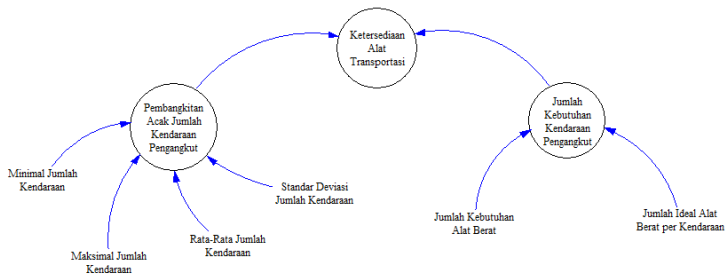
Nama	Perkembangan Panjang Jalan	Satuan	km
Tipe	Level	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Luas area • Perkembangan panjang jalan
Nilai Awal			
Panjang Jalan di Provinsi Jawa Timur			
Ekuasi			
Perkembangan Panjang Jalan/Luas Area			

Untuk *rate* “Rate Perkembangan Panjang Jalan” digunakan untuk menghitung rata-rata penambahan panjang jalan per tahun yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dimana rata-rata penambahan jalan per tahun di Provinsi Jawa Timur adalah 6288.28 km [35].

Tabel 4.54 Rate perkembangan panjang jalan

Nama	Rate Perkembangan Panjang Jalan	Satuan	km
Tipe	<i>Rate</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Rata-rata penambahan jalan per tahun
Ekuasi			
Rata-rata penambahan jalan per tahun			

Auxiliary “Ketersediaan Alat Transportasi” digunakan untuk mendapatkan besaran nilai persentase ketersediaan alat transportasi yang ada di Provinsi Jawa Timur. *Auxiliary* ini menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk membatasi nilai persentase yang dibuat dari pembagian variabel pembangkitan acak jumlah kendaraan pengangkut dengan jumlah kebutuhan kendaraan pengangkut dikalikan dengan 100% [8].

**Gambar 4.14 Stock flows diagram ketersediaan alat transportasi**

Nama	Ketersediaan Alat Transportasi	Satuan	Persen
-------------	--------------------------------	---------------	--------

Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Pembangkitan acak jumlah kendaraan pengangkut • Jumlah kebutuhan kendaraan pengangkut
Ekuasi			
IF THEN ELSE((Pembangkitan Acak Jumlah Kendaraan Pengangkut/Jumlah Kebutuhan Kendaraan Pengangkut*100)>100, 100 , (Pembangkitan Acak Jumlah Kendaraan Pengangkut/Jumlah Kebutuhan Kendaraan Pengangkut*100))			

Auxiliary “Pembangkitan Acak Jumlah Kendaraan Pengangkut” digunakan untuk membangkitkan nilai acak jumlah kendaraan pengangkut yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dimana pembangkitan acak tersebut menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* pada data minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi jumlah kendaraan.

Tabel 4.55 *Auxiliary* pembangkitan acak jumlah kendaraan pengangkut

Nama	Pembangkitan Acak Jumlah Kendaraan Pengangkut	Satuan	Unit
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal jumlah kendaraan • Maksimal jumlah kendaraan • Rata-rata jumlah kendaraan • Standar deviasi jumlah kendaraan

Ekuasi
RANDOM NORMAL(Minimal Jumlah Kendaraan , Maksimal Jumlah Kendaraan , "Rata-Rata Jumlah Kendaraan" , Standar Deviasi Jumlah Kendaraan , 0)

Tabel 4.56 Data kendaraan pengangkut

Jumlah Kendaraan Pengangkut (Unit)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	59	403	196.63	79.75

Untuk *auxiliary* “Jumlah Kebutuhan Kendaraan Pengangkut” digunakan untuk mengetahui jumlah minimal kebutuhan kendaraan pengangkut yang harus ada di suatu wilayah jika ingin membangun sebuah PLTBG. *Auxiliary* ini menggunakan ekuasi pembagian antara jumlah kebutuhan alat berat dan jumlah ideal alat berat per kendaraan. Dimana jumlah kebutuhan alat berat di Provinsi Jawa Timur pada tahun 2017 mencapai angka 5300 unit dan jumlah ideal alat berat per kendaraan pengangkut idealnya mengangkut 12 alat berat per tahun [36].

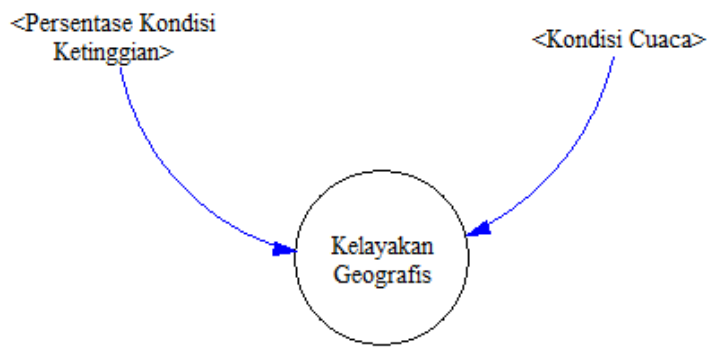
Tabel 4.57 *Auxiliary* jumlah kebutuhan kendaraan pengangkut

Nama	Jumlah Kebutuhan Kendaraan Pengangkut	Satuan	Unit
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Jumlah kebutuhan alat berat Jumlah ideal alat berat per kendaraan

Ekuasi
Jumlah Kebutuhan Alat Berat/Jumlah Ideal Alat Berat per Kendaraan

4.4.4 *Stock Flows Diagram* Kelayakan Geografis

Menentukan kondisi kelayakan geografis dalam pembangunan sebuah PLTBG disuatu wilayah ditinjau dari persentase kondisi ketinggian dan kondisi cuaca. Dimana kedua *auxiliary* tersebut memiliki dampak yang sama yaitu 50%. Ekuasi yang digunakan adalah pengubahan nilai menjadi persentase dengan cara mengkalikan nilai dengan 50%, kemudian dilakukan penjumlahan dari dua nilai persentase yang telah didapatkan. Hal tersebut dapat dilihat melalui gambar dan tabel dibawah ini:



Gambar 4.15 *Stock flows diagram* kelayakan geografis

Tabel 4.58 *Auxiliary* kelayakan geografis

Nama	Kelayakan Geografis	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none">• Persentase kondisi ketinggian• Kondisi cuaca

Ekuasi		
(Persentase Cuaca*(50/100))	Kondisi	Ketinggian*(50/100)))+(Kondisi

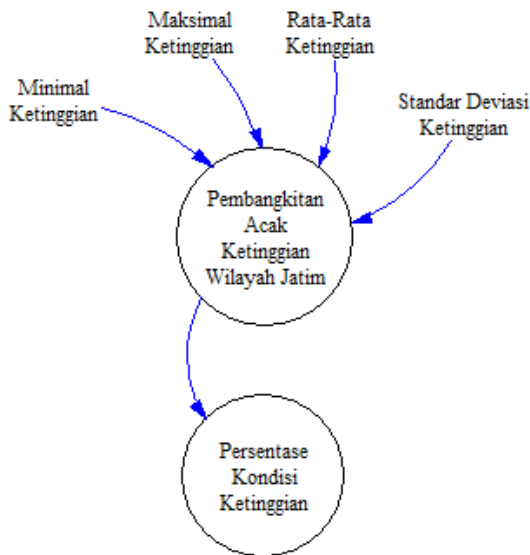
Pada *auxiliary* “Persentase Kondisi Ketinggian” digunakan untuk mengetahui kelayakan ketinggian dalam persentase wilayah yang ada di Provinsi Jawa Timur dari nilai pembangkitan acak ketinggian wilayah Jatim. Pada *auxiliary* “Persentase Kondisi Ketinggian” digunakan ekuasi *IF THEN ELSE* berguna untuk menerapkan kondisi yang ada, karena pada persentase kondisi ketinggian dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

- Ketinggian dapat dikatakan layak jika wilayah tersebut memiliki ketinggian lebih dari sama dengan 200 meter dan kurang dari sama dengan 700 meter.
- Ketinggian dapat dikatakan cukup layak jika wilayah tersebut memiliki ketinggian lebih dari 700 meter.
- Ketinggian dapat dikatakan tidak layak jika wilayah tersebut memiliki ketinggian kurang dari 200 meter [37].

Untuk mengubah kondisi tersebut kedalam nilai persentase maka dibutuhkan parameter untuk mengubahnya, yaitu sebagai berikut:

- 0% sampai 35% untuk kondisi ketinggian yang tidak layak.
- 36% sampai 70% untuk kondisi ketinggian yang cukup layak.
- 71% sampai 100% untuk kondisi ketinggian yang layak.

Pengimplementasian parameter persentase tersebut menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM* guna membangkitkan nilai acak dari setiap parameter yang digunakan.



Gambar 4.16 Stock flows diagram persentase kondisi ketinggian

Tabel 4.59 Auxiliary persentase kondisi ketinggian

Nama	Persentase Kondisi Ketinggian	Satuan	Persen
Tipe	Auxiliary	Variabel	<ul style="list-style-type: none">Pembangkitan acak ketinggian wilayah jatim
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Ketinggian Wilayah Jatim>=200:AND:Pembangkitan Acak Ketinggian Wilayah Jatim<=700 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Ketinggian Wilayah Jatim>700 , RANDOM UNIFORM(36 , 70 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Ketinggian Wilayah Jatim<200 , RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))			

Auxiliary “Pembangkitan Acak Ketinggian Wilayah Jatim” digunakan untuk membangkitkan nilai secara acak menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM* untuk menunjukkan nilai ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur. *Auxiliary* ini menggunakan nilai minimal ketinggian, maksimal ketinggian, rata-rata ketinggian, dan standar deviasi ketinggian.

Tabel 4.60 *Auxiliary* pembangkitan acak ketinggian wilayah jatim

Nama	Pembangkitan Acak Ketinggian Wilayah Jatim	Satuan	Meter
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal ketinggian • Maksimal ketinggian • Rata-rata ketinggian • Standar deviasi ketinggian
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Ketinggian , Maksimal Ketinggian , "Rata-Rata Ketinggian" , Standar Deviasi Ketinggian , 0)			

Data ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur terbagi menjadi tiga bagian yaitu:

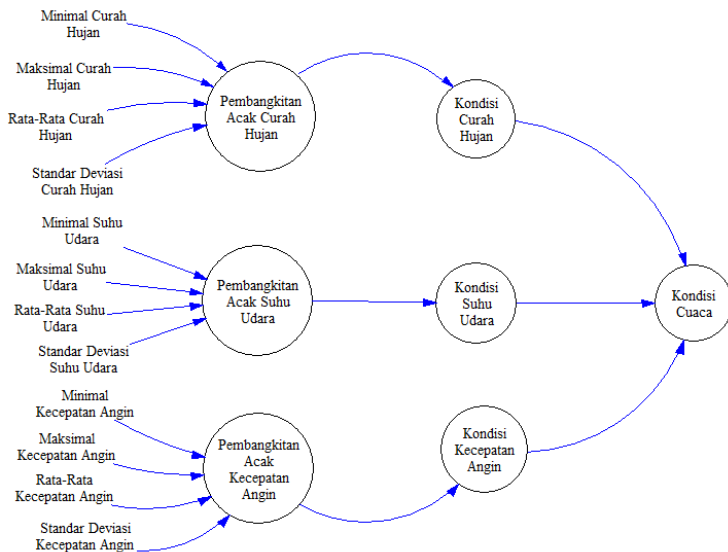
- Daratan tinggi, memiliki ketinggian lebih dari sama dengan 683 meter. Meliputi lima kabupaten dan tiga kota yaitu: Kabupaten Trenggalek, Kabupaten Blitar, Kabupaten Malang, Kabupaten Bondowoso, Kabupaten Magetan, Kota Blitar, Kota Malang, Kota Batu.

- b. Dataran sedang, memiliki ketinggian antara 45 sampai 100 meter. Meliputi sembilan kabupaten dan dua kota yaitu: Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Jember, Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Bangkalan, Kabupaten Kediri, Kabupaten Madiun, Kabupaten Ngajuk, Kabupaten Ngawi, Kota Kediri dan Kota Madiun.
- c. Dataran rendah, memiliki ketinggian kurang dari sama dengan 45 meter. Meliputi lima belas Kabupaten dan empat kota [37].

Tabel 4.61 Data ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur

Ketinggian Wilayah (Meter)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	45	683	172.1	234.46

Auxiliary “Kondisi Cuaca” digunakan untuk mengetahui kondisi cuaca yang dimiliki oleh wilayah di Provinsi Jawa Timur per tahunnya. Dimana kondisi cuaca ditinjau dari tiga variabel yaitu kondisi curah hujan, kondisi suhu udara, dan kondisi kecepatan angin. Setiap variabel tersebut memiliki besaran pengaruh yang sama terhadap kondisi cuaca suatu wilayah.



Gambar 4.17 Stock flows diagram kondisi cuaca

Tabel 4.62 Auxiliary kondisi cuaca

Nama	Kondisi Cuaca	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi curah hujan Kondisi suhu udara Kondisi kecepatan angin
Ekuasi			
$(\text{Kondisi Curah Hujan} * (33/100)) + (\text{Kondisi Suhu Udara} * (33/100)) + (\text{Kondisi Kecepatan Angin} * (33/100))$			

Auxiliary “Kondisi Curah Hujan” digunakan untuk mengetahui nilai persentase kondisi curah hujan per tahunnya yang baik untuk membangun sebuah PLTBG. Pada *auxiliary* ini

menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi yang ada sebagai berikut:

- Kondisi curah hujan yang baik memiliki nilai lebih dari sama dengan 2000mm sampai kurang dari sama dengan 3000mm.
- Kondisi curah hujan yang cukup memiliki nilai lebih kecil dari 2000mm.
- Kondisi curah hujan yang buruk memiliki nilai lebih besar dari 3000mm [32].

Untuk mengubahnya menjadi nilai persentase maka dibuat batasan nilai persentase untuk setiap kondisi yang ada, dimana setiap batasan tersebut diterapkan menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM* untuk membangkitkan nilai persentase secara acak:

- 0% sampai 35% untuk kondisi curah hujan buruk.
- 36% sampai 70% untuk kondisi curah hujan cukup.
- 71% sampai 100% untuk kondisi curah hujan baik.

Tabel 4.63 Auxiliary kondisi curah hujan

Nama	Kondisi Curah Hujan	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	• Pembangkitan acak curah hujan
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Curah Hujan>=2000:AND:Pembangkitan Acak Curah Hujan<=3000 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Curah Hujan<2000 , RANDOM UNIFORM(36 , 70 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Curah Hujan>3000:AND:Pembangkitan Acak Curah Hujan<=5000 , RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))			

Auxiliary “Kondisi Suhu Udara” digunakan untuk mengetahui nilai persentase kondisi suhu udara per tahunnya yang baik untuk membangun sebuah PLTBG. Pada *auxiliary* ini menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi yang ada sebagai berikut:

- Kondisi suhu udara yang baik memiliki nilai lebih dari sama dengan 26°C sampai kurang dari sama dengan 28°C .
- Kondisi suhu udara yang cukup memiliki nilai lebih besar dari 28°C .
- Kondisi suhu udara yang buruk memiliki nilai lebih kecil dari 26°C [32].

Untuk mengubahnya menjadi nilai persentase maka dibuat batasan nilai persentase untuk setiap kondisi yang ada, dimana setiap batasan tersebut diterapkan menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM* untuk membangkitkan nilai persentase secara acak:

- 0% sampai 35% untuk kondisi suhu udara buruk.
- 36% sampai 70% untuk kondisi suhu udara cukup.
- 71% sampai 100% untuk kondisi suhu udara baik.

Tabel 4.64 *Auxiliary* kondisi suhu udara

Nama	Kondisi Suhu Udara	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Pembangkitan acak suhu udara
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Suhu Udara ≥ 26 :AND:Pembangkitan Acak Suhu Udara ≤ 28 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Suhu Udara > 28 , RANDOM UNIFORM(36 ,			

70 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Suhu Udara<26 ,
RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))

Auxiliary “Kondisi Kecepatan Angin” digunakan untuk mengetahui nilai persentase kondisi kecepatan angin per tahunnya yang baik untuk membangun sebuah PLTBG. Pada *auxiliary* ini menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi yang ada sebagai berikut:

- a. Kondisi kecepatan angin yang baik memiliki nilai lebih dari sama dengan 1.3 m/d sampai kurang dari sama dengan 6.3 m/d.
- b. Kondisi kecepatan angin yang cukup memiliki nilai lebih kecil dari 1.3 m/d.
- c. Kondisi suhu udara yang buruk memiliki nilai lebih besar dari 6.3 m/d [32].

Untuk mengubahnya menjadi nilai persentase maka dibuat batasan nilai persentase untuk setiap kondisi yang ada, dimana setiap batasan tersebut diterapkan menggunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM* untuk membangkitkan nilai persentase secara acak:

- a. 0% sampai 35% untuk kondisi kecepatan angin buruk.
- b. 36% sampai 70% untuk kondisi kecepatan angin cukup.
- c. 71% sampai 100% untuk kondisi kecepatan angin baik.

Tabel 4.65 *Auxiliary* kondisi kecepatan angin

Nama	Kondisi Kecepatan Angin	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Pembangkitan acak kecepatan angin

Ekuasi	
IF	THEN ELSE(Pembangkitan Acak Kecepatan Angin \geq 1.3:AND:Pembangkitan Acak Kecepatan Angin \leq 6.3 , RANDOM UNIFORM(71 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Kecepatan Angin $<$ 1.3 , RANDOM UNIFORM(36 , 70 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Kecepatan Angin $>$ 6.3 , RANDOM UNIFORM(0 , 35 , 0) , 0)))

Auxiliary “Pembangkitan Acak Curah Hujan” digunakan untuk mengetahui kondisi curah hujan per tahunnya yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dimana pada *auxiliary* ini menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* untuk melakukan pembangkitan acak nilai minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi data curah hujan yang dimiliki.

Tabel 4.66 *Auxiliary* pembangkitan acak curah hujan

Nama	Pembangkitan Acak Curah Hujan	Satuan	mm
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal curah hujan • Maksimal curah hujan • Rata-rata curah hujan • Standar deviasi curah hujan
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Curah Hujan, Maksimal Curah Hujan , "Rata-Rata Curah Hujan" , Standar Deviasi Curah Hujan , 0)			

Tabel 4.67 Data curah hujan

Curah Hujan (mm)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	848	2573.5	1695.79	442.64

Sedangkan *auxiliary* “Pembangkitan Acak Suhu Udara” digunakan untuk mengetahui kondisi suhu udara per tahunnya yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dimana pada *auxiliary* ini menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* untuk melakukan pembangkitan acak nilai minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi data suhu udara yang dimiliki.

Tabel 4.68 *Auxiliary* pembangkitan acak suhu udara

Nama	Pembangkitan Acak Suhu Udara	Satuan	°C
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Minimal suhu udara Maksimal suhu udara Rata-rata suhu udara Standar deviasi suhu udara
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Suhu Udara , Maksimal Suhu Udara , "Rata-Rata Suhu Udara" , Standar Deviasi Suhu Udara , 0)			

Tabel 4.69 Data suhu udara

Suhu Udara (°C)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	26.57	29.6	27.5	0.96

Untuk *auxiliary* “Pembangkitan Kecepatan Angin” digunakan untuk mengetahui kondisi kecepatan angin per tahunnya yang ada di Provinsi Jawa Timur. Dimana pada *auxiliary* ini menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* untuk melakukan pembangkitan acak nilai minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi data kecepatan angin yang dimiliki.

Tabel 4.70 *Auxiliary* pembangkitan acak kecepatan angin

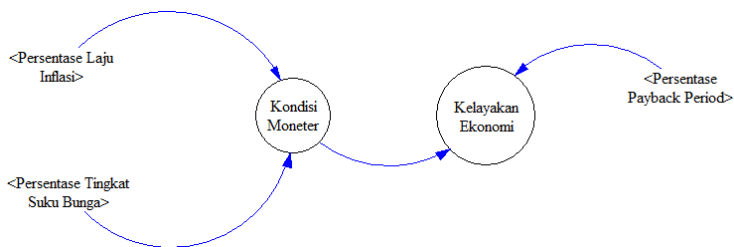
Nama	Pembangkitan Acak Kecepatan Angin	Satuan	m/d
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Minimal kecepatan angin Maksimal kecepatan angin Rata-rata kecepatan angin Standar deviasi kecepatan angin
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Kecepatan Angin , Maksimal Kecepatan Angin , "Rata-Rata Kecepatan Angin" , Standar Deviasi Kecepatan Angin , 0)			

Tabel 4.71 Data kecepatan angin

Kecepatan Angin (m/d)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	2.19	7.06	4.58	1.35

4.4.5 *Stock Flows Diagram* Kelayakan Ekonomi

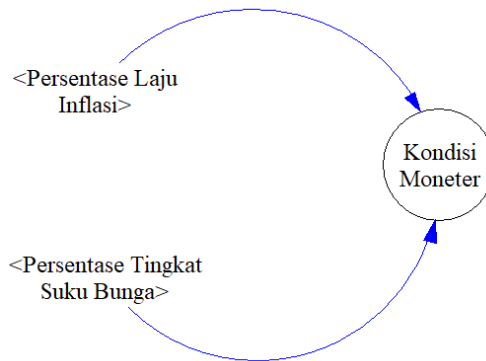
Pada *stock flows diagram* kelayakan ekonomi dicari nilai persentase kondisi dari kelayakan ekonomi dimana di dalam model direpresentasikan sebagai *auxiliary* “Kelayakan Ekonomi”. *Auxiliary* “Kelayakan Ekonomi” dipengaruhi oleh dua variabel yaitu “Kondisi Moneter” dan “Persentase *Payback Period*”. Kedua variabel tersebut memiliki pengaruh yang sama besar terhadap kelayakan ekonomi dalam pengembangan sebuah pembangkit listrik energi *biogas*.

Gambar 4. 18 *Stock flows diagram* kelayakan ekonomiTabel 4.72 *Auxiliary* kelayakan ekonomi

Nama	Kelayakan Ekonomi	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Kondisi moneter Persentase <i>payback period</i>
Ekuasi			

$(\text{Kondisi Moneter} * (50/100)) + (\text{Persentase Payback Period} * (50/100))$

Auxiliary “Kondisi Moneter” sendiri dipengaruhi oleh dua *auxiliary* yaitu “Persentase Laju Inflasi” dan “Persentase Tingkat Suku Bunga”. Dimana kedua nilai *auxiliary* tersebut memiliki besaran pengaruh yang sama terhadap *auxiliary* “Kondisi Moneter”.



Gambar 4.19 Stock flows diagram kondisi moneter

Tabel 4.73 Auxiliary kondisi moneter

Nama	Kondisi Moneter	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Persentase laju inflasi Persentase tingkat suku bunga
Ekuasi			
$(\text{Persentase Laju Inflasi} * (50/100)) + (\text{Persentase Tingkat Suku Bunga} * (50/100))$			

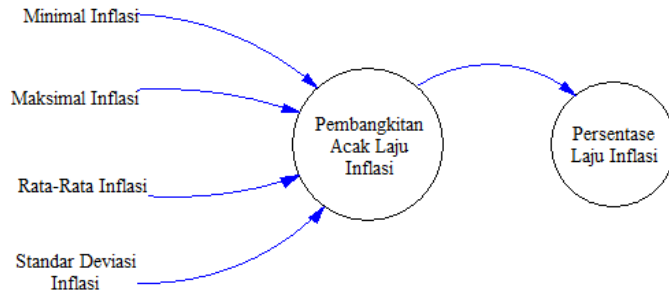
Auxiliary “Persentase Laju Inflasi” digunakan untuk memperoleh persentase kondisi laju inflasi. Berdasarkan kondisinya, kondisi laju inflasi dibedakan menjadi empat yaitu [38]:

- a. Inflasi ringan dimana laju pertumbuhan per tahunnya $< 10\%$.
- b. Inflasi sedang dimana laju pertumbuhan per tahunnya antara 10% sampai 30% .
- c. Inflasi berat dimana laju pertumbuhan per tahunnya antara 30% sampai 100% .
- d. Hiper inflasi dimana laju pertumbuhan per tahunnya mencapai lebih dari 100% .

Kondisi tersebut yang menjadi batasan nilai pada ekuasi *auxiliary* “Persentase Laju Inflasi”, batasan tersebut yang menentukan besaran pada *RANDOM UNIFORM* yang digunakan yaitu:

- a. $0\% - 25\%$ untuk hiper inflasi
- b. $26\% - 50\%$ untuk laju inflasi berat
- c. $51\% - 75\%$ untuk laju inflasi sedang
- d. $76\% - 100\%$ untuk laju inflasi ringan

Pada *auxiliary* “Persentase Laju Inflasi” juga menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi tertentu pada kondisi laju inflasi.



Gambar 4.20 *Stock Flows Diagram* persentase laju inflasi

Tabel 4.74 *Auxiliary* persentase laju inflasi

Nama	Persentase Laju Inflasi	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Pembangkitan acak laju inflasi
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Laju Inflasi<10 , RANDOM UNIFORM(76 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Laju Inflasi>=10 :AND: Pembangkitan Acak Laju Inflasi<30 , RANDOM UNIFORM(51 , 75 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Laju Inflasi>=30 :AND: Pembangkitan Acak Laju Inflasi<100 , RANDOM UNIFORM(26 , 50 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Laju Inflasi>=100 , RANDOM UNIFORM(0 , 25 , 0) , 0)))			

Auxiliary “Pembangkitan Acak Laju Inflasi” menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* digunakan untuk membangkitkan nilai secara random dari data laju inflasi.

Tabel 4.75 Auxiliary pembangkitan acak laju inflasi

Nama	Pembangkitan Acak Laju Inflasi	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal inflasi • Maksimal inflasi • Rata-rata inflasi • Standar deviasi inflasi
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Inflasi , Maksimal Inflasi , "Rata-Rata Inflasi" , Standar Deviasi Inflasi , 0)			

Tabel 4.76 Data Laju Inflasi

Laju Inflasi (%)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	2.24	8.38	5.3	1.92

Auxiliary “Persentase Tingkat Suku Bunga” digunakan untuk memperoleh persentase kondisi nilai suku bunga di tiap tahunnya dimana semakin besar suku bunga yang ditetapkan oleh bank maka akan semakin kecil investor mau untuk mengusahakan pembangunan pembangkit listrik energi *biogas*. Hal ini disebabkan semakin besarnya suku bunga maka investor lebih tertarik untuk menyimpan dananya di bank untuk memperoleh keuntungan lebih, daripada membuka usaha dengan pinjaman berbunga tinggi [39]. Berdasarkan kondisinya tingkat suku bunga dibedakan menjadi empat yaitu:

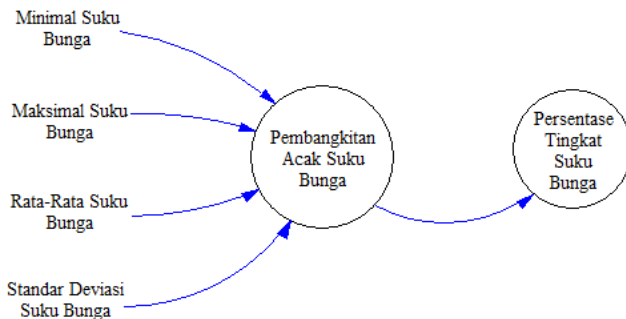
- Tingkat suku bunga ringan dimana tingkat suku bunga per tahunnya $< 10\%$.

- b. Tingkat suku bunga sedang dimana tingkat suku bunga per tahunnya antara 10% sampai 30%.
- c. Tingkat suku bunga berat dimana tingkat suku bunga per tahunnya antara 30% sampai 100%.
- d. Hiper suku bunga dimana tingkat suku bunga per tahunnya mencapai lebih dari 100%.

Kondisi tersebut yang menjadi batasan nilai pada ekuasi *auxiliary* “Persentase Tingkat Suku Bunga”, batasan tersebut yang menentukan besaran pada *RANDOM UNIFORM* yang digunakan yaitu:

- a. 0% sampai 25% untuk hiper suku bunga.
- b. 26% sampai 50% untuk tingkat suku bunga berat.
- c. 51% sampai 75% untuk tingkat suku bunga sedang.
- d. 76% sampai 100% untuk tingkat suku bunga ringan.

Pada *auxiliary* “Persentase Tingkat Suku Bunga” juga menggunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi tertentu pada kondisi tingkat suku bunga.



Gambar 4.21 Stock Flows Diagram persentase tingkat suku bunga

Tabel 4.77 Auxiliary persentase tingkat suku bunga

Nama	Persentase Tingkat Suku Bunga	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Pembangkitan acak suku bunga
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Suku Bunga<10 , RANDOM UNIFORM(76 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Suku Bunga>=10 :AND: Pembangkitan Acak Suku Bunga<30 , RANDOM UNIFORM(51 , 75 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Suku Bunga>=30 :AND: Pembangkitan Acak Suku Bunga<100 , RANDOM UNIFORM(26 , 50 , 0) , IF THEN ELSE(Pembangkitan Acak Suku Bunga>=100 , RANDOM UNIFORM(0 , 25 , 0) , 0)))			

Tabel 4.78 Auxiliary pembangkitan acak suku bunga

Nama	Pembangkitan Acak Suku Bunga	Satuan	Persen
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Minimal suku bunga Maksimal suku bunga Rata-rata suku bunga Standar deviasi suku bunga
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Suku Bunga , Maksimal Suku Bunga , "Rata-Rata Suku Bunga" , Standar Deviasi Suku Bunga , 0)			

Tabel 4.79 Data suku bunga

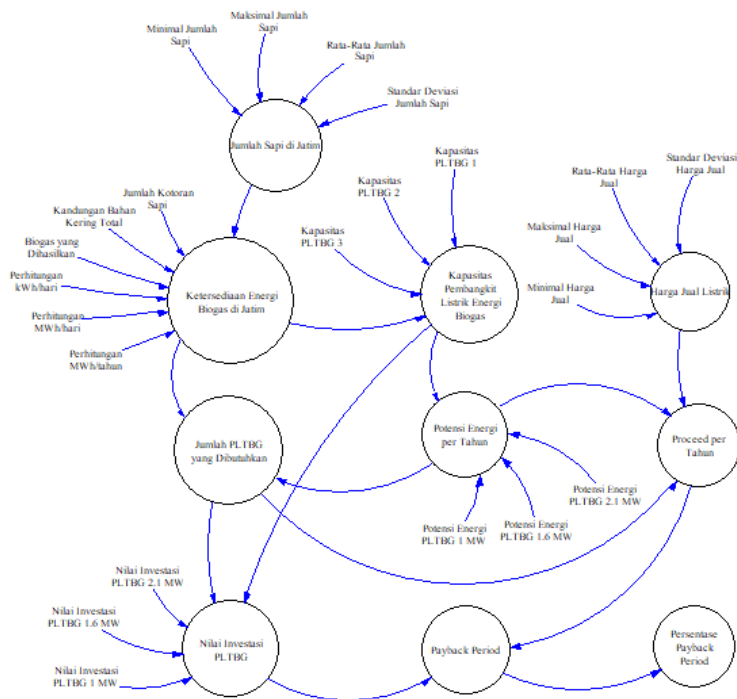
Suku Bunga (%)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	5.77	7.54	6.81	0.59

Axiliary “Persentase *Payback Period*” digunakan untuk mengetahui besaran persentase nilai *payback period* dalam pembangunan PLTBG di Provinsi Jawa Timur. Pada *auxiliary* ini digunakan ekuasi IF THEN ELSE untuk menerapkan batasan kondisi yang ada. Persentase *payback period* dibedakan menjadi empat kondisi dimana umur efektif sebuah PLTBG adalah 20 tahun [40].

- Payback period* sebuah PLTBG dikatakan baik ketika memiliki kisaran waktu 0 sampai 5 tahun.
- Payback period* sebuah PLTBG dikatakan cukup baik ketika memiliki kisaran waktu 6 sampai 10 tahun.
- Payback period* sebuah PLTBG dikatakan cukup ketika memiliki kisaran waktu 11 sampai 15 tahun.
- Payback period* sebuah PLTBG dikatakan buruk ketika memiliki kisaran waktu 16 sampai 20 tahun.

Sedangkan untuk merubah dalam bentuk persentase maka digunakan ekuasi *RANDOM UNIFORM* untuk membangkitkan nilai acak pada setiap kondisi yang diterapkan:

- 0% sampai 25% untuk *payback period* buruk.
- 26% sampai 50% untuk *payback period* cukup.
- 51% sampai 75% untuk *payback period* cukup baik.
- 76% sampai 100% untuk *payback period* baik.



Gambar 4.22 Stock flows diagram persentase payback period

Tabel 4.80 Auxiliary persentase payback period

Nama	Persentase Payback Period	Satuan	Persen
Tipe	Auxiliary	Variabel	• Payback period
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Payback Period>=0 :AND: Payback Period<=5 , RANDOM UNIFORM(76 , 100 , 0) , IF THEN ELSE(Payback Period>5 :AND: Payback Period<=10 , RANDOM UNIFORM(51 , 75 , 0) , IF THEN ELSE(Payback Period>10 :AND: Payback Period<=15 , RANDOM UNIFORM(26 , 50 , 0) , IF THEN ELSE(Payback Period>15 :AND: Payback Period<=20 , RANDOM UNIFORM(0 , 25 , 0) , 0))))			

Pada *Auxiliary “Payback Period”* digunakan untuk mengetahui berapa tahun yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal investasi awal yang digunakan untuk membangun PLTBG dengan kapasitas PLTBG yang sesuai. Ekuasi yang digunakan adalah pembagian antara *axiliary “Nilai Investasi PLTBG”* dengan *auxiliary “Proceed per Tahun”*.

Tabel 4.81 Auxiliary payback period

Nama	Persentase <i>Payback Period</i>	Satuan	Tahun
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Nilai investasi PLTBG • <i>Proceed</i> per tahun
Ekuasi			
Nilai Investasi PLTBG/ <i>Proceed</i> per Tahun			

Auxiliary “Proceed per Tahun” digunakan untuk mendapatkan nilai *income* PLTBG per tahunnya untuk mencari nilai *payback period*. *Auxiliary “Proceed per Tahun”* menggunakan ekuasi perkalian antara *auxiliary “Potensi Energi per Tahun”*, *auxiliary “Jumlah PLTBG yang Dibutuhkan”*, dan *auxiliary “Harga Jual Listrik”*.

Tabel 4.82 Auxiliary proceed per tahun

Nama	<i>Proceed</i> per Tahun	Satuan	Rupiah
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Potensi Energi per Tahun • Jumlah PLTBG yang dibutuhkan • Harga jual listrik

Ekuasi					
Potensi	Energi	per	Tahun*Jumlah	PLTBG	yang
Dibutuhkan*Harga Jual Listrik					

Sedangkan *auxiliary* “Harga Jual Listrik” digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata harga jual listrik per tahun yang ada di Jawa. Perhitungan *auxiliary* “Harga Jual Listrik” menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* untuk membangkit nilai acak dari nilai minimal harga listrik hingga nilai standar deviasi harga listrik seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.83:

Tabel 4.83 Auxiliary harga jual listrik

Nama	Harga Jual Listrik	Satuan	Rupiah (masukkan dalam jumlah rupiah per MWh bukan per kWh)
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Minimal harga jual • Maksimal harga jual • Rata-rata harga jual • Standar deviasi harga jual
Ekuasi			
RANDOM NORMAL(Minimal Harga Jual , Maksimal Harga Jual , "Rata-Rata Harga Jual" , Standar Deviasi Harga Jual , 0)			

Tabel 4.84 Data harga jual listrik

Harga Jual Listrik (per MWh)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	415620	1150000	737749	254831

Untuk *axiliary* “Potensi Energi per Tahun” digunakan untuk mengetahui nilai potensi energi listrik yang dapat dihasilkan sesuai dengan kapasitas pembangkit listrik energi *biogas* yang dipilih pada *auxiliary* “Kapasitas Pembangkit Listrik Energi *Biogas*”. Ekuasi yang digunakan adalah *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi jika kapasitas pembangkit listrik energi *biogas* yang digunakan adalah 1 MW, 1.6 MW ataukah 2.1 MW. Potensi energi yang dimiliki PLTBG dengan kapasitas 1 MW adalah 9500 MWh, 1.6 MW adalah 14200 MWh, sedangkan untuk PLTBG dengan kapasitas 2.1 MW memiliki potensi energi sebesar 18900 MWh per tahun [40].

Tabel 4.85 Auxiliary potensi energi per tahun

Nama	Potensi Energi per Tahun	Satuan	MWh
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas pembangkit listrik energi <i>biogas</i> • Potensi energi PLTBG 1 MW • Potensi energi PLTBG 1.6 MW • Potensi energi PLTBG 2.1 MW
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Kapasitas Pembangkit Listrik Energi Biogas=1 , Potensi Energi PLTBG 1 MW , IF THEN ELSE(Kapasitas Pembangkit Listrik Energi Biogas=1.6 , "Potensi Energi PLTBG 1.6 MW" , IF THEN ELSE(Kapasitas Pembangkit Listrik Energi Biogas=2.1 , "Potensi Energi PLTBG 2.1 MW" , 0)))			

Auxiliary “Kapasitas Pembangkit Listrik Energi *Biogas*” digunakan untuk menentukan kapasitas pembangkit listrik energi *biogas* mana yang paling efisien dilihat dari ketersediaan energi *bigas* di Provinsi Jawa Timur. Dimana pada *auxiliary* ini digunakan ekuasi *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi yang ada:

- Kapasitas PLTBG 1 MW jika ketersediaan energi di Provinsi Jawa Timur kurang dari sama dengan 9700 MWh/tahun.
- Kapasitas PLTBG 1.6 MW jika ketersediaan energi di Provinsi Jawa Timur lebih dari 9700 MWh/tahun dan kurang dari sama dengan 13000 MWh/tahun.
- Kapasitas PLTBG 2.1 MW jika ketersediaan energi di Provinsi Jawa Timur lebih dari 13000 MWh/tahun [40].

Tabel 4.86 *Auxiliary* kapasitas pembangkit listrik energi *biogas*

Nama	Kapasitas Pembangkit Listrik Energi <i>Biogas</i>	Satuan	MW
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Ketersediaan energi <i>biogas</i> di Jatim • Kapasitas PLTBG 1 • Kapasitas PLTBG 2 • Kapasitas PLTBG 3
Ekuasi			
IF THEN ELSE(Ketersediaan Energi Biogas di Jatim<=9700 , Kapasitas PLTBG 1 , IF THEN ELSE(Ketersediaan Energi Biogas di Jatim>9700 :AND: Ketersediaan Energi Biogas di			

Jatim<=13000 , Kapasitas PLTBG 2 , IF THEN ELSE(
Ketersediaan Energi Biogas di Jatim>13000 , Kapasitas PLTBG 3
, 0))

Auxiliary “Nilai Investasi PLTBG” digunakan untuk mencari berapa biaya investasi yang diperlukan untuk membangun jumlah PLTBG yang dibutuhkan untuk mengolah ketersediaan energi *biogas* berdasarkan dengan kapasitas PLTBG yang akan dibangun. Nilai investasi PLTBG dihitung menggunakan nilai 1000 US\$ per kW [27]. Sehingga nilai investasi PLTBG dengan kapasitas 1 MW adalah 14 milyar rupiah, PLTBG dengan kapasitas 1.6 MW adalah 22 milyar rupiah, sedangkan nilai investasi PLTBG dengan kapasitas 2.1 MW adalah 28 milyar rupiah. Ekuasi yang digunakan adalah *IF THEN ELSE* untuk menerapkan kondisi berdasarkan kapasitas PLTBG yang ingin dibangun.

Tabel 4.87 *Auxiliary* nilai investasi PLTBG

Nama	Nilai Investasi PLTBG	Satuan	Rupiah
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah PLTBG yang dibutuhkan • Kapasitas pembangkit listrik energi <i>biogas</i> • Nilai investasi PLTBG 1 MW • Nilai investasi PLTBG 1.6 MW • Nilai investasi PLTBG 2.1 MW

Ekuasi
IF THEN ELSE(Kapasitas Pembangkit Listrik Energi Biogas=1 , Nilai Investasi PLTBG 1 MW*Jumlah PLTBG yang Dibutuhkan , IF THEN ELSE(Kapasitas Pembangkit Listrik Energi Biogas =1.6 , "Nilai Investasi PLTBG 1.6 MW"*Jumlah PLTBG yang Dibutuhkan , IF THEN ELSE(Kapasitas Pembangkit Listrik Energi Biogas=2.1 , "Nilai Investasi PLTBG 2.1 MW"*Jumlah PLTBG yang Dibutuhkan , 0)))

Auxiliary “Jumlah PLTBG yang Dibutuhkan” digunakan untuk menghitung jumlah PLTBG yang dibutuhkan untuk mengoptimalkan pengolahan ketersediaan energi *biogas* yang ada di Provinsi Jawa Timur sebagai pembangkit listrik alternatif. *Auxiliary* ini dihitung berdasarkan pembagian antara ketersediaan energi *biogas* di Jatim dengan potensi energi per tahun yang dihasilkan oleh PLTBG dengan kapasitas yang telah disesuaikan dengan kondisi yang ada.

Tabel 4.88 *Auxiliary* jumlah PLTBG yang dibutuhkan

Nama	Jumlah PTBG yang Dibutuhkan	Satuan	unit
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • Ketersediaan energi biogas di Jatim • Potensi energi per tahun
Ekuasi			
Ketersediaan Energi Biogas di Jatim/Potensi Energi per Tahun			

Pada *auxiliary* “Ketersediaan Energi *Biogas* di Jatim” digunakan untuk mengetahui ketersediaan energi *biogas* yang

ada di Provinsi Jawa Timur per tahunnya. Dimana ketersediaan energi *biogas* tersebut bergantung dengan jumlah ternak (sapi) yang ada di Provinsi Jawa Timur, dimana pada *auxiliary* ini mengubah jumlah sapi yang ada menjadi nilai ketersediaan energi *biogas* dengan cara mengkalikan jumlah sapi dengan jumlah kotoran sapi dimana setiap sapi dapat menghasilkan kotoran sebanyak 25 kg/hari. Kemudian dikalikan dengan kandungan bahan kering total yang dimiliki kotoran sapi sebesar 20%. Untuk mencari jumlah *biogas* yang dihasilkan maka nilai yang dihasilkan dikali dengan 0.04. Kemudian dikalikan lagi untuk mencari nilai kWh/hari dengan 4.7, karena setiap 1 m³/hari *biogas* dapat menghasilkan 4.7 kWh/hari. Untuk mengubah nilai menjadi MWh/tahun maka nilai yang dihasilkan dibagi dengan 1000 dan dikalikan dengan 365 hari [27].

Tabel 4.89 Auxiliary ketersediaan energi *biogas* di jatim

Nama	Ketersediaan Energi <i>Biogas</i> di Jatim	Satuan	MWh
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Biogas</i> yang dihasilkan • Jumlah kotoran sapi • Jumlah sapi di Jatim • Kandungan bahan kering total • Perhitungan kWh/hari • Perhitungan MWh/hari

			<ul style="list-style-type: none"> Perhitungan MWh/tahun
Ekuasi			
$\frac{((((((\text{Jumlah Sapi di Jatim} * \text{Jumlah Kotoran Sapi}) * \text{Kandungan Bahan Kering Total}) * \text{Biogas yang Dihasilkan}) * \text{"Perhitungan kWh/hari"})) / \text{"Perhitungan MWh/hari"}) * \text{"Perhitungan MWh/tahun"}}{1}$			

Untuk *auxiliary* “Jumlah Sapi di Jatim” digunakan untuk mengetahui jumlah sapi yang ada di Provinsi Jawa Timur agar nantinya dapat dikonversikan menjadi nilai ketersediaan energi *biogas* yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik alternatif. Pada *auxiliary* ini menggunakan ekuasi *RANDOM NORMAL* untuk membangkitkan nilai random dari nilai minimal, maksimal, rata-rata, dan standar deviasi jumlah sapi.

Tabel 4.90 Auxiliary jumlah sapi di jatim

Nama	Jumlah Sapi di Jatim	Satuan	MWh
Tipe	<i>Auxiliary</i>	Variabel	<ul style="list-style-type: none"> Minimal jumlah sapi Maksimal jumlah sapi Rata-rata jumlah sapi Standar deviasi jumlah sapi
Ekuasi			
$\text{RANDOM NORMAL}(\text{Minimal Jumlah Sapi} , \text{Maksimal Jumlah Sapi} , \text{"Rata-Rata Jumlah Sapi"} , \text{Standar Deviasi Jumlah Sapi} , 0)$			

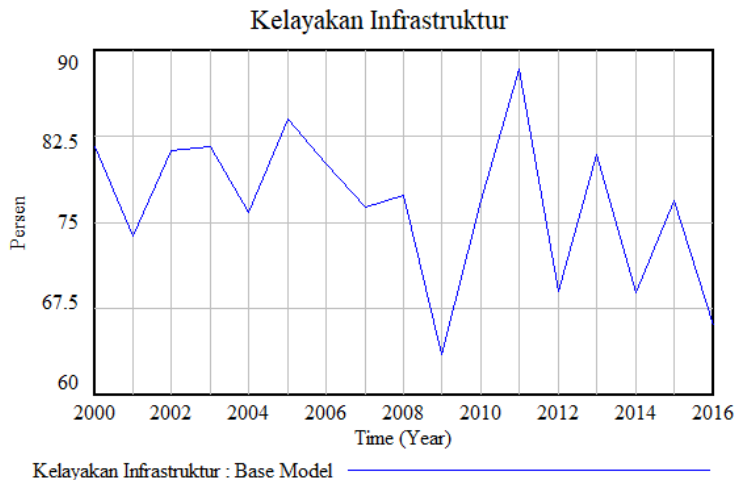
Tabel 4.91 Data jumlah sapi di jatim

Jumlah Sapi di Jatim (ekor)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	27889507	36073390	31375692	2347999

4.5 Analisis Model Kondisi Eksisting (*Base Model*)

Pada bagian analisis *base model* dilakukan analisis terkait hasil yang telah dijalankan dari *Stock Flows Diagram* yang telah dibuat. Analisis ini bertujuan untuk memberikan penjelasan terkait hasil diagram yang telah dihasilkan dari masing-masing *sub-system*, data terkait diagram yang ada pada bagian analisis model kondisi eksisting dapat dilihat pada Lampiran A.

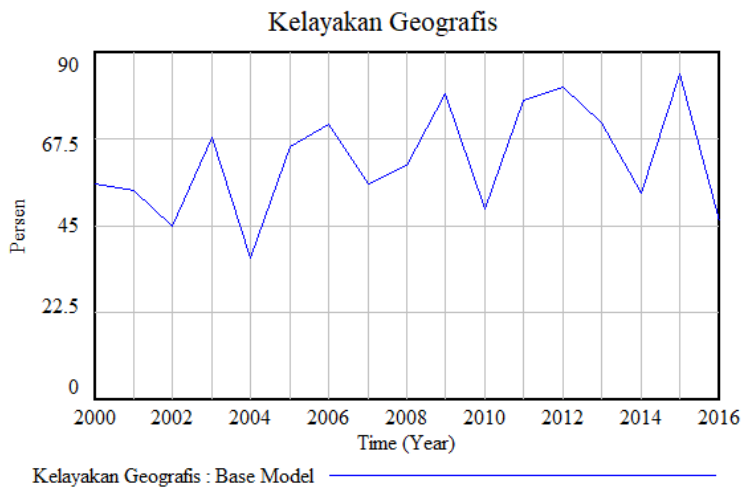
4.5.1 Analisis Kelayakan Infrastruktur

Gambar 4.23 Hasil *base model* kelayakan infrastruktur

Pada Gambar 4.23 dapat dilihat nilai persentase kelayakan infrastruktur terus naik turun seiring berjalannya waktu. Nilai

persentase terbesar ada pada tahun 2011 yaitu sebesar 88% dan nilai persentase terkecil ada pada tahun 2009 yaitu hanya sebesar 63% saja. Tetapi nilai kelayakan infrastruktur setiap tahunnya masih memiliki nilai diatas 50% yang dapat dikatakan layak.

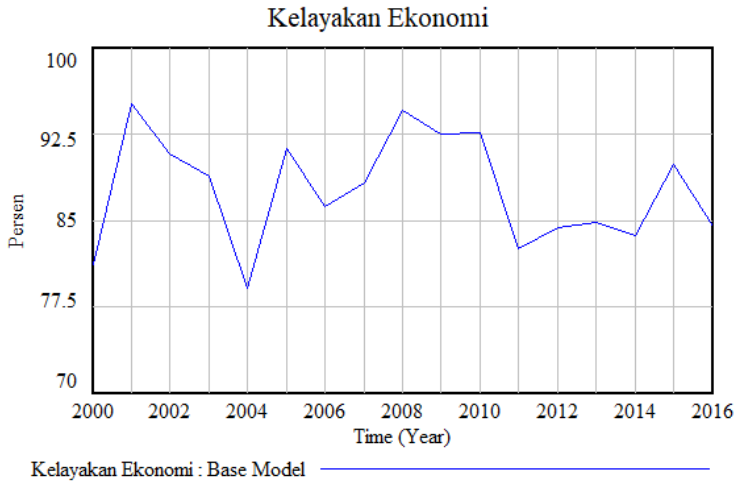
4.5.2 Analisis Kelayakan Geografis



Gambar 4.24 Hasil *base model* kelayakan geografis

Pada Gambar 4.24 dapat dilihat nilai persentase kelayakan geografis terus naik turun seiring berjalannya waktu. Hal tersebut dipengaruhi oleh batasan nilai persentase yang diterapkan dan dibangkitkan secara acak. Nilai persentase terbesar ada pada tahun 2015 yaitu sebesar 84% dan nilai persentase terkecil ada pada tahun 2004 yaitu hanya sebesar 36% saja. Tetapi nilai kelayakan geografis setiap tahunnya mayoritas masih memiliki nilai diatas 50% yang dapat dikatakan layak. Hanya pada tahun 2002 dan 2004 saja yang memiliki nilai dibawah 50% atau bisa disebut tidak layak.

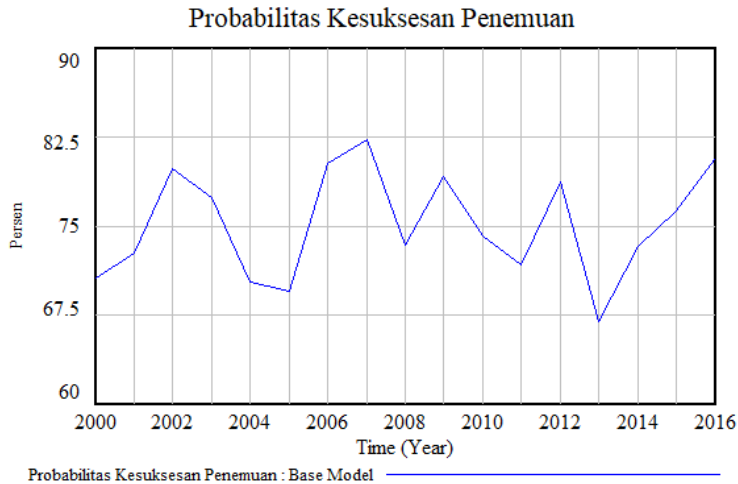
4.5.3 Analisis Kelayakan Ekonomi



Gambar 4.25 Hasil *base model* kelayakan ekonomi

Pada Gambar 4.25 dapat dilihat nilai persentase kelayakan ekonomi terus naik turun seiring berjalannya waktu. Hal tersebut dipengaruhi oleh batasan nilai persentase yang diterapkan dan dibangkitkan secara acak. Nilai persentase terbesar ada pada tahun 2001 yaitu sebesar 95% dan nilai persentase terkecil ada pada tahun 2004 yaitu hanya sebesar 79% saja. Tetapi nilai kelayakan ekonomi setiap tahunnya masih memiliki nilai diatas 50% yang dapat dikatakan layak.

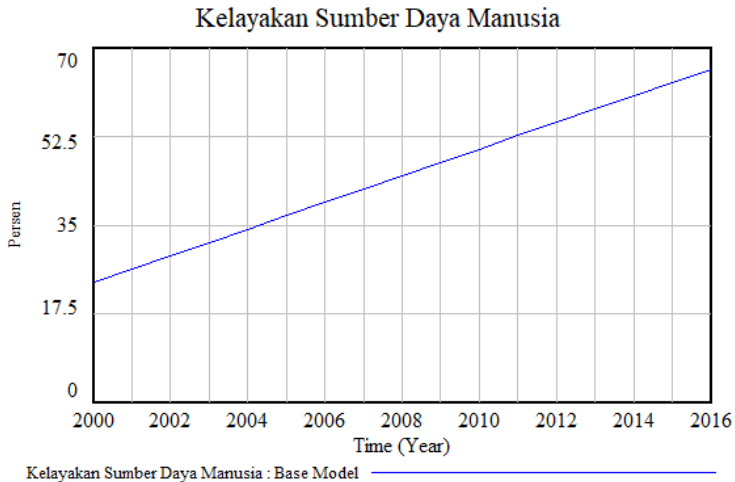
4.5.4 Analisis Probabilitas Kesuksesan Penemuan



Gambar 4.26 Hasil *base model* probabilitas kesuksesan penemuan

Pada Gambar 4.26 dapat dilihat nilai persentase probabilitas kesuksesan penemuan terus naik turun seiring berjalannya waktu. Hal tersebut dipengaruhi oleh batasan nilai persentase yang diterapkan dan dibangkitkan secara acak. Nilai persentase terbesar ada pada tahun 2007 yaitu sebesar 82% dan nilai persentase terkecil ada pada tahun 2013 yaitu hanya sebesar 67% saja. Tetapi nilai probabilitas kesuksesan penemuan setiap tahunnya masih memiliki nilai diatas 50% yang dapat dikatakan sukses.

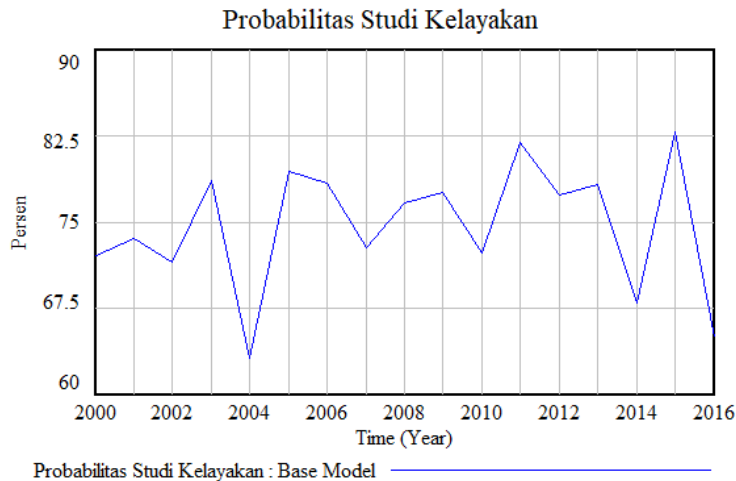
4.5.5 Analisis Kelayakan Sumber Daya Manusia



Gambar 4.27 Hasil *base model* kelayakan sumber daya manusia

Pada Gambar 4.27 dapat dilihat nilai persentase kelayakan sumber daya manusia terus naik seiring berjalannya waktu. Hal tersebut dipengaruhi oleh jumlah penambahan profesional setiap tahunnya. Nilai persentase terbesar tentu pada tahun 2016 yaitu sebesar 65% dan nilai persentase terkecil pada tahun 2000 yaitu hanya sebesar 23% saja. Tetapi sebuah sumber daya manusia dapat dikatakan layak jika minimal memiliki nilai lebih besar dari 50%, jadi dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa kelayakan sumber daya manusia baru dimiliki pada tahun 2011.

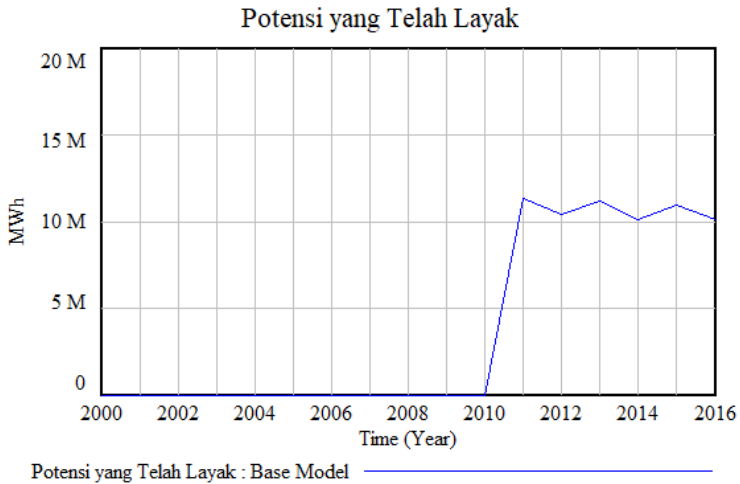
4.5.6 Analisis Probabilitas Studi Kelayakan



Gambar 4.28 Hasil *base model* probabilitas studi kelayakan

Pada Gambar 4.28 dapat dilihat nilai probabilitas studi kelayakan terus naik turun seiring berjalannya waktu. Hal tersebut dipengaruhi oleh batasan nilai persentase yang diterapkan dan dibangkitkan secara acak. Nilai persentase terbesar ada pada tahun 2015 yaitu sebesar 83% dan nilai persentase terkecil ada pada tahun 2004 yaitu hanya sebesar 63% saja. Tetapi nilai probabilitas studi kelayakan setiap tahunnya masih memiliki nilai diatas 50% yang dapat dikatakan layak. Dimana nilai persentase tersebut didapatkan dari hasil kumulatif nilai persentase kelayakan ekonomi, kelayakan geografis, dan kelayakan infrastruktur.

4.5.7 Analisis Potensi yang Telah Layak



Gambar 4.29 Hasil *base model* potensi yang telah layak

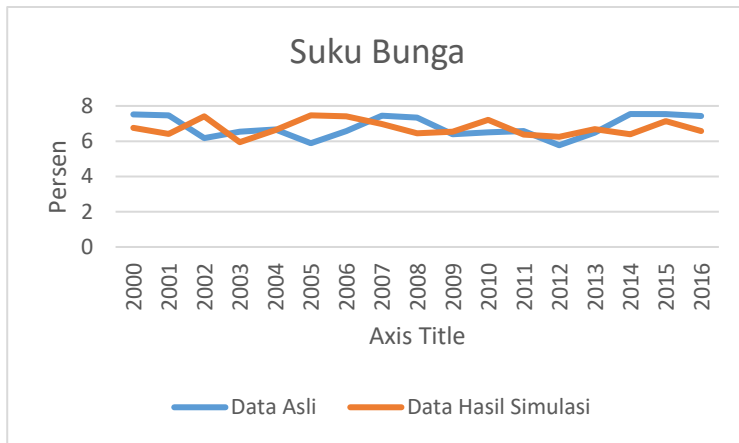
Pada Gambar 4.29 dapat dilihat nilai potensi yang telah layak baru dapat dikatakan layak dan dapat dimanfaatkan mulai tahun 2011 hingga 2016. Itu disebabkan pada tahun sebelumnya di wilayah Provinsi Jawa Timur belum memiliki kelayakan sumber daya manusia yang dapat dilihat pada Gambar 4.27.

4.6 Uji Validasi

Uji validasi merupakan sebuah proses penentuan apakah model konseptual simulasi benar-benar merupakan representasi akurat dari sistem aktual yang dimodelkan [41]. Validasi model pada penelitian ini menggunakan pengujian *mean comparison* dan *variance comparison* [42]. Hasil simulasi yang diuji meliputi nilai suku bunga, suhu udara, dan curah hujan. Untuk data pada bagian uji validasi dapat dilihat pada Lampiran B.

4.6.1 Suku Bunga

Pada Gambar 4.30 dapat dilihat grafik perbandingan dari data asli suku bunga dengan data hasil simulasi yang dihasilkan. Dimana pada table 4.94 dilakukan validasi terhadap data tersebut dan menunjukkan bahwa data tersebut valid karena memiliki nilai *mean comparison* kurang dari 5% dan nilai *error variance* kurang dari 30%.



Gambar 4.30 Grafik perbandingan data suku bunga

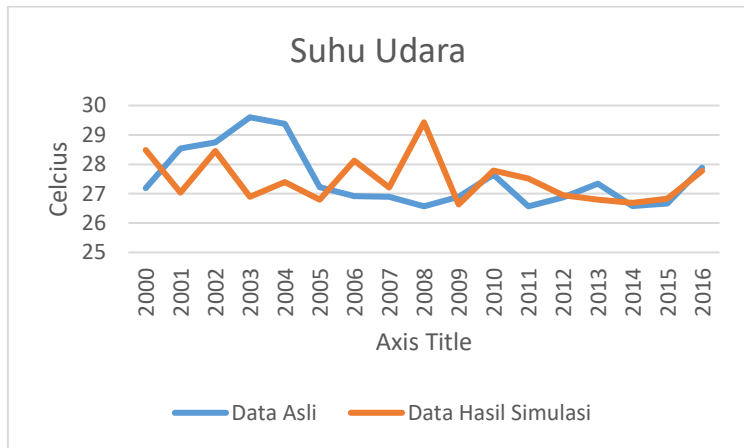
Tabel 4.92 Validasi data suku bunga

<p><i>Mean Comparison</i></p> $E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$ <p>(< 5 %)</p>	$\frac{ 6.74 - 6.81 }{6.81}$ $= 0,01 \times 100 \% = 1\%$	Valid
<p><i>Error Variance</i></p> $E2 = \frac{ \bar{Ss} - \bar{Sa} }{\bar{Sa}}$	$\frac{ 0.26 - 0.59 }{0.59}$	

(< 30 %)	= 0,26 x 100 % = 26%	
----------	-----------------------------	--

4.6.2 Suhu Udara

Gambar 4.31 menunjukkan grafik perbandingan dari data asli suhu udara dengan data hasil simulasi yang dihasilkan. Dimana pada table 4.95 dilakukan validasi terhadap data tersebut dan menunjukkan bahwa data tersebut valid karena memiliki nilai *mean comparison* kurang dari 5% dan nilai *error variance* kurang dari 30%.



Gambar 4.31 Grafik perbandingan data suhu udara

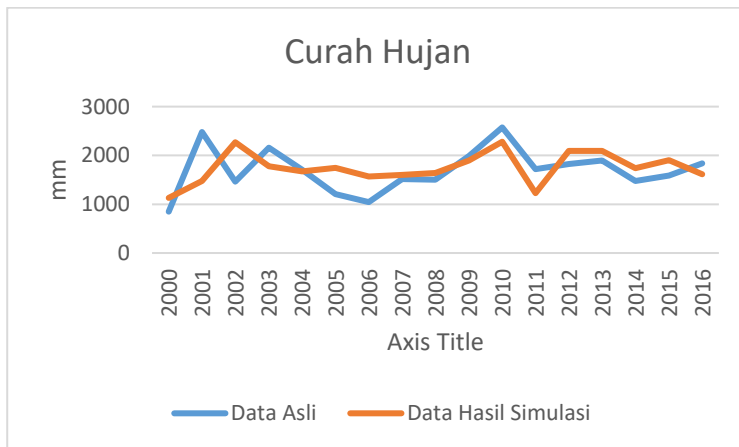
Tabel 4.93 Validasi data suhu udara

<p><i>Mean Comparison</i></p> $E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$ <p>(< 5 %)</p>	$\frac{ 27.46 - 27.5 }{27.5}$ $= 0,0015 \times 100 \% = \mathbf{0.15\%}$	Valid
--	--	--------------

<i>Error Variance</i> $F2 = \frac{ Ss - Sa }{Sa}$ (< 30 %)	$\frac{ 0.77 - 0.96 }{0.96}$	
	$= 0,2 \times 100 \% = 20\%$	

4.6.3 Curah Hujan

Gambar 4.32 menunjukkan grafik perbandingan dari data asli curah hujan dengan data hasil simulasi yang dihasilkan. Dimana pada table 4.96 dilakukan validasi terhadap data tersebut dan menunjukkan bahwa data tersebut valid karena memiliki nilai *mean comparison* kurang dari 5% dan nilai *error variance* kurang dari 30%.



Gambar 4.32 Grafik perbandingan data curah hujan

Tabel 4.94 Validasi data curah hujan

Mean Comparison $E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$ (< 5 %)	$\frac{ 1748 - 1696 }{1696}$ = 0,03 x 100 % = 3%	Valid
Error Variance $E2 = \frac{ Ss - Sa }{Sa}$ (< 30 %)	$\frac{ 312 - 443 }{443}$	
	= 0,29 x 100 % = 29%	

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5 PEMBENTUKAN SKENARIO DAN ANALISIS HASIL

Pada bab ini menjelaskan tentang proses pembuatan skenario serta analisis terhadap hasil dari masing-masing skenario berdasarkan *base model* yang telah dibuat. Skenario ini dibuat untuk meningkatkan nilai persentase dari aspek *sub-system* yang digunakan pada *base model*.

5.1 Pengembangan Skenario

Skenario dikembangkan untuk memperbaiki dan meningkatkan kinerja dari sistem. Dengan penerapan scenario akan dilihat berbagai kemungkinan yang bisa terjadi dimasa yang akan datang. Dalam penelitian ini peningkatan kerja sistem berfokus pada aspek *sub-system* untuk meningkatkan potensi yang layak dari ketersediaan energi *biogas* yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik alternatif. Pada penelitian ini akan dikembangkan dua skenario yaitu (data dapat dilihat pada Lampiran C):

1. Skenario Peningkatan Kelayakan Infrastruktur

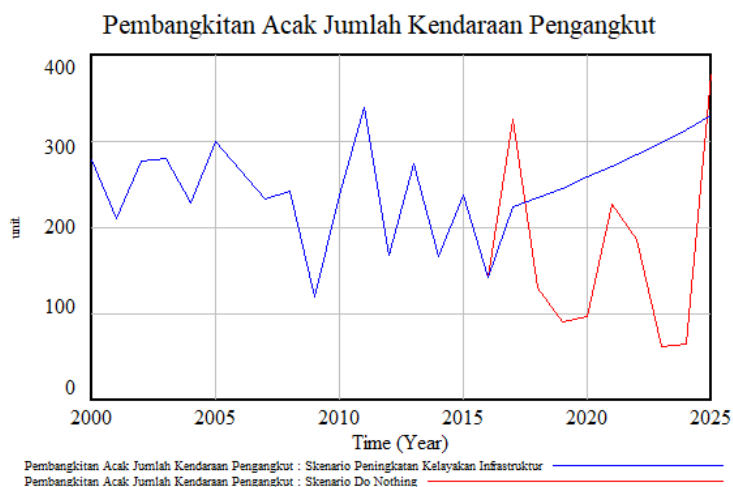
Skenario dikembangkan dengan meningkatkan nilai parameter yang mempengaruhi tingkat kelayakan infrastruktur, sehingga kemungkinan terjadi peningkatan pada kelayakan infrastruktur.

2. Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi

Skenario dikembangkan dengan meningkatkan nilai parameter yang mempengaruhi tingkat kelayakan ekonomi, sehingga kemungkinan terjadi peningkatan pada kelayakan ekonomi.

5.1.1 Skenario Peningkatan Kelayakan Infrastruktur

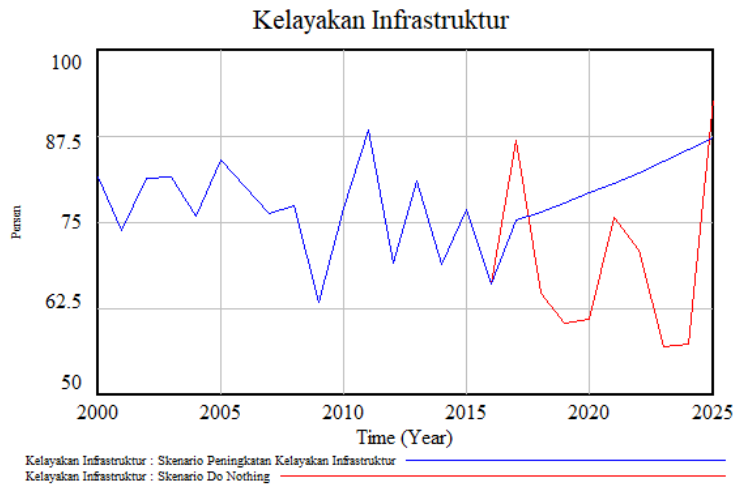
Skenario peningkatan kelayakan infrastruktur dilakukan bertujuan untuk meningkatkan persentase kelayakan infrastruktur yang dirasa masih memiliki nilai yang kurang baik. Hal tersebut dilakukan dengan cara meningkatkan perawatan pada kendaraan pengangkut dan menjaga konsistensi penambahan kendaraan pengangkut disetiap tahunnya sebesar 5%.



Gambar 5. 1 Grafik perbandingan pembangkitan acak jumlah kendaraan pengangkut

Tabel 5.1 Data skenario peningkatan kelayakan infrastruktur

Jumlah Kendaraan (unit)	Minimal	Maksimal	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jumlah	223	329	273	34



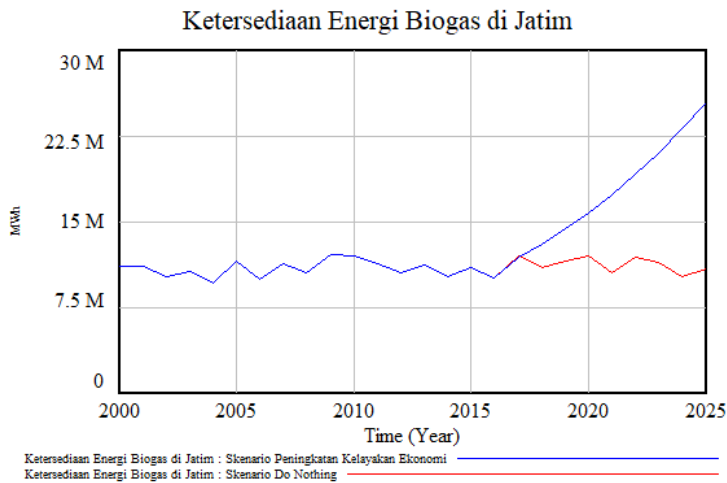
Gambar 5.2 Grafik perbandingan kelayakan infrastruktur

Pada *auxiliary* “Kelayakan Infrastruktur” dapat dilihat bahwa menjaga konsistensi peningkatan jumlah kendaraan pengangkut berbanding lurus terhadap kelayakan infrastruktur. Dapat dilihat pada Gambar 5.2 pada tahun 2017 hingga tahun 2025 terjadi peningkatan secara konstan terhadap nilai persentase kelayakan infrastruktur.

5.1.2 Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi

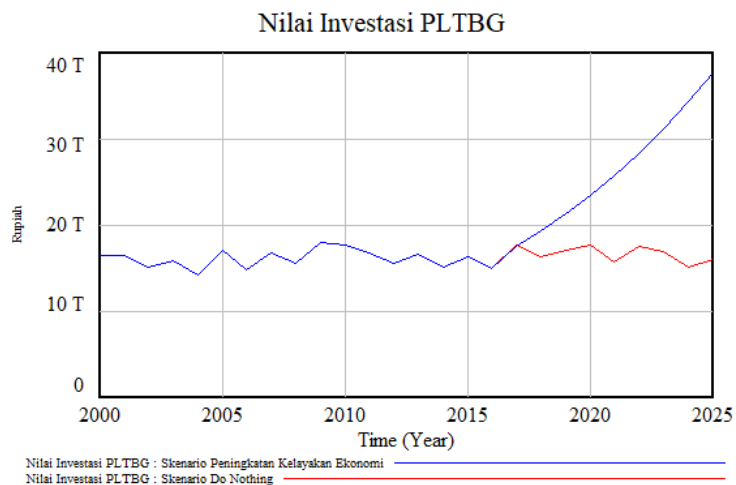
Skenario peningkatan kelayakan ekonomi dilakukan bertujuan untuk meningkatkan persentase kelayakan ekonomi. Hal tersebut dilakukan dengan cara menjaga konsistensi peningkatan jumlah sapi yang ada di Provinsi Jawa Timur sebesar 10%. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah peningkatan jumlah sapi yang berbanding lurus dengan peningkatan ketersediaan energi *biogas* juga berbanding lurus

dengan *payback period* yang dihasilkan. Sehingga dapat meningkatkan persentase kelayakan ekonomi.

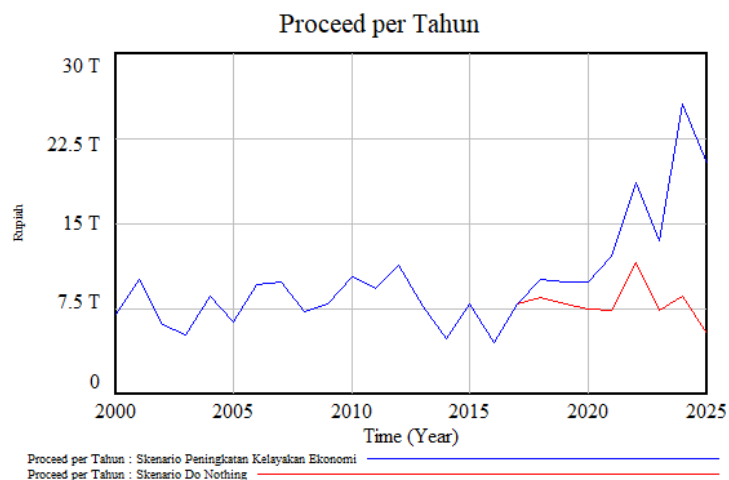


Gambar 5.3 Grafik perbandingan ketersediaan energi *biogas* di Jatim

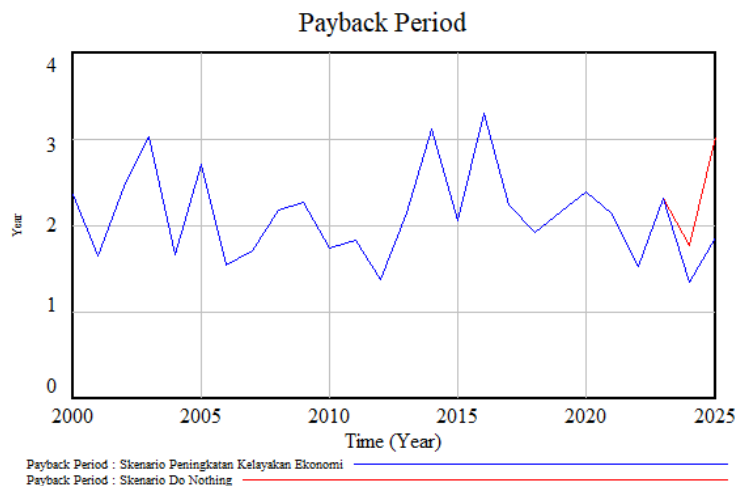
Pada Gambar 5.3 menunjukkan peningkatan jumlah sapi berbanding lurus dengan jumlah ketersediaan energi *biogas* yang ada di Provinsi Jawa Timur. Sehingga berbanding lurus juga dengan jumlah PLTBG yang dibutuhkan untuk mengolah semua ketersediaan energi *biogas* yang ada, dimana hal tersebut juga berpengaruh pada peningkatan nilai investasi PLTBG dan *proceed* per tahun.



Gambar 5.4 Grafik perbandingan nilai investasi PLTBG

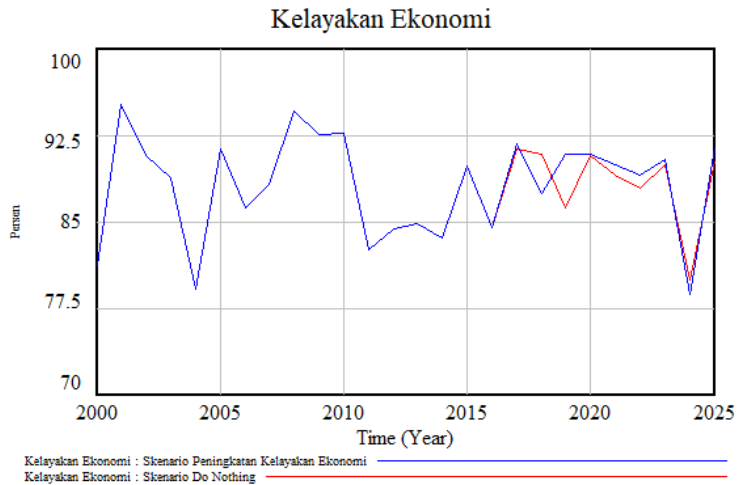


Gambar 5.5 Grafik perbandingan *proceed* per tahun



Gambar 5.6 Grafik perbandingan *payback period*

Ternyata peningkatan jumlah nilai investasi PLTBG lebih kecil dibandingkan peningkatan nilai *proceed* per tahun. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.6 yang menunjukkan nilai *payback period* semakin kecil dan dapat dikatakan lebih bagus dibandingkan nilai dari skenario data aslinya.

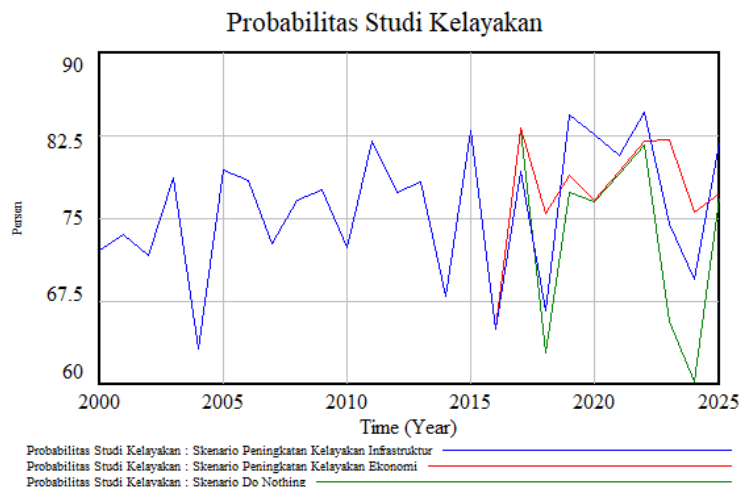


Gambar 5.7 Grafik perbandingan kelayakan ekonomi

Pada Gambar 5.7 menunjukkan terjadinya peningkatan kelayakan ekonomi secara mayor dari tahun 2017 hingga tahun 2025. Dimana penurunan hanya terjadi pada tahun 2018 dan tahun 2024.

5.2 Analisis Hasil

Pada bagian analisis hasil akan dilakukan perbandingan antara setiap skenario dengan scenario *Do Nothing* yang menggunakan data asli. Perbandingan tersebut dapat dilihat secara langsung pada *auxiliary* “Probabilitas Studi Kelayakan”.



Gambar 5.8 Grafik perbandingan probabilitas studi kelayakan

Tabel 5.2 Perbandingan hasil skenario

Tahun	<i>Do Nothing</i>	Infrastruktur	Ekonomi
2000	72.0908	72.0908	72.0908
2001	73.5629	73.5629	73.5629
2002	71.5539	71.5539	71.5539
2003	78.5983	78.5983	78.5983
2004	63.1855	63.1855	63.1855
2005	79.3685	79.3685	79.3685
2006	78.3867	78.3867	78.3867
2007	72.7173	72.7173	72.7173
2008	76.6626	76.6626	76.6626
2009	77.5887	77.5887	77.5887
2010	72.2683	72.2683	72.2683
2011	81.9203	81.9203	81.9203
2012	77.3371	77.3371	77.3371

Tahun	<i>Do Nothing</i>	Infrastruktur	Ekonomi
2013	78.2898	78.2898	78.2898
2014	67.9323	67.9323	67.9323
2015	82.8798	82.8798	82.8798
2016	64.9534	64.9534	64.9534
2017	82.9935	79.1941	83.1205
2018	62.7414	66.6397	75.3973
2019	77.3767	84.3523	78.9129
2020	76.5292	82.5972	76.5904
2021	78.9729	80.657	79.2649
2022	81.6497	84.5686	82.0099
2023	65.6593	74.4931	82.0648
2024	60.133	69.4116	75.5772
2025	76.8857	81.8173	77.2382
Rata-Rata	74.31683077	75.88565769	76.13355

Pada *auxiliary* “Probabilitas Studi Kelayakan” dapat dilihat dari Gambar 5.8 dan Tabel 5.2 menunjukkan bahwa skenario terbaik dari ketiga skenario yang ada adalah skenario peningkatan kelayakan ekonomi, karena dapat melakukan peningkatan rata-rata skenario paling besar menjadi 76.13%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan seluruh proses penelitian yang telah dilakukan untuk memastikan hasil yang diperoleh telah mampu menjawab pertanyaan penelitian serta tujuan penelitian. Melalui pengembangan model berdasarkan kondisi saat ini (*base model*) dan skenario, kesimpulan diambil dari proses simulasi menggunakan metode sistem dinamik untuk melakukan analisis ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif dengan studi kasus Provinsi Jawa Timur.

6.1 Kesimpulan

Beberapa hal yang menjadi kesimpulan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Pengembangan model potensi energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif menggunakan Metode Sistem Dinamik ditinjau berdasarkan kondisi eksisting, aspek-aspek yang mempengaruhi analisis ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif adalah: aspek teknis, aspek infrastruktur, aspek geografis, aspek sosial, dan aspek ekonomi. Kelima aspek tersebut digunakan untuk mencari nilai probabilitas keputusan lelang, keputusan kesuksesan penemuan, probabilitas studi kelayakan, keputusan dukungan masyarakat, potensi yang telah terbukti, dan potensi energi *biogas* yang telah layak di Provinsi Jawa Timur.
2. Model yang digunakan pada tugas akhir ini telah valid, karena telah memenuhi persyaratan nilai maksimal Error E1 (*Means Comparison*) kurang dari 5% dan Error E2 (*Amplitudo Variance Comparison*) kurang dari 30%. Sehingga model ini bisa dijadikan sebagai acuan untuk

melakukan simulasi analisis ketersediaan energi *biogas* sebagai pembangkit energi listrik alternatif di Provinsi Jawa Timur.

3. Agar dapat memperbaiki usulan perbaikan sistem, maka dilakukan pembuatan skenario dan penerapan skenario untuk meningkatkan probabilitas studi kelayakan energi *biogas* yang ada di Provinsi Jawa Timur. Skenario yang dilakukan antara lain: peningkatan kelayakan infrastruktur dan peningkatan kelayakan ekonomi.
4. Dari hasil skenariosasi yang telah dilakukan, skenario yang dapat mempengaruhi peningkatan probabilitas studi kelayakan energi *biogas* di Provinsi Jawa Timur adalah skenario peningkatan kelayakan ekonomi.

6.2 Saran

Saran yang timbul dari pengerjaan tugas akhir berikut dan dapat digunakan untuk mengembangkan topik dan permasalahan dalam tugas akhir ini untuk tugas akhir berikutnya adalah:

1. Pengembangan model bisa lebih ditingkatkan dengan menjabarkan kembali variabel-variabel yang ada pada masing-masing *sub-system*, karena pada penelitian ini belum dijabarkan secara mendetail.
2. Konsep dan model dari analisis ketersediaan energi *biogas* dapat diimplementasikan pada analisis ketersediaan energi *biogas* pada wilayah lainnya, dengan dilakukan penyesuaian terhadap lingkup studi kasus yang diinginkan. Penelitian bisa memfokuskan pada ruang lingkup yang lebih kecil ataupun lebih luas seperti kota, kabupaten, ataupun negara. Karena secara umum konsep yang digunakan sama.
3. Perlunya pengetahuan yang lebih dalam mengenai pendekatan model sistem dinamik untuk membuat model

yang lebih baik lagi dalam merepresentasikan permasalahan dunia nyata, sekaligus memberikan solusinya. Selain itu, pengetahuan lebih dapat meningkatkan akurasi model dan mengembangkan variabel-variabel yang mungkin belum dicantumkan dalam penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemprov Jatim, “Sekilas Jawa Timur,” 09 Juli 2015. [Online]. Available: <http://jatimprov.go.id/read/sekilas-jawa-timur/sekilas-jawa-timur>. [Diakses 02 Februari 2017].
- [2] KEMENTRIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL, “Statistik Ketenagalistrikan,” Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2015.
- [3] S. Ghaliyah, “Potensi Energi Panas Bumi Indonesia Sebagai Sumber Energi Alternatif Pembangkit Listrik,” vol. 40, p. 3, 2013.
- [4] KOMINFO JATIM, “Persediaan Energi Terbarukan di Jatim Melimpah,” KOMINFO JATIM, 14 Desember 2010. [Online]. Available: <http://kominfo.jatimprov.go.id/read/umum/24964>. [Diakses 03 Februari 2017].
- [5] M. Idris, “Tiga Hambatan Utama Pengembangan Energi Terbarukan di RI,” detik.com, 17 Desember 2015. [Online]. Available: <http://finance.detik.com/energi/d-3098320/tiga-hambatan-utama-pengembangan-energi-terbarukan-di-ri>. [Diakses 03 Februari 2017].
- [6] A. T. Almi, “Pembangkit Listrik Tenaga Biogas,” p. 1.
- [7] D. H. Soekarwo, “Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 74 Tahun 2010,” *Kebijakan Pengembangan Sumber Energi Alternatif Tertentu di Jawa Timur*, 2010.

- [8] R. Z. Alhamri, “Kajian Potensi Energi Panas Bumi sebagai Alternatif Pembangkit Energi Listrik Terbarukan: Sebuah Framework Sistem Dinamik,” 2016.
- [9] O. Axella, “Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus: Jawa Timur),” 2012.
- [10] S. H. Mukti, “Metode Sistem Dinamis (Systems Dynamic) Untuk Perencanaan Pembangunan Wilayah,” 13 April 2010. [Online]. Available: <http://shmukti.blogspot.co.id/2010/04/metode-sistem-dinamis-untuk-perencanaan.html>. [Diakses 27 Februari 2017].
- [11] G. P. Richardson, Encyclopedia of Operations Research and Management Science, S. I. & F. M. C. Gass, Penyunt., 2013.
- [12] Energy.gov, “Office of Energy Efficiency & Renewable Energy,” [Online]. Available: <https://energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>. [Diakses 25 Februari 2017].
- [13] Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, “Teknik Permodelan dan Simulasi,” 18 Maret 2014. [Online]. Available: <https://komekstensi.wordpress.com/2014/03/18/apakah-yang-dimaksud-dengan-simulasi-2/>. [Diakses 27 Februari 2017].
- [14] W. K. a. R. Sadowski, “Simulating with ARENA,” 1998, p. 547.

- [15] P. Morville, "The System of Information Architecture," *Journal of Information Architecture*, vol. 3, 2012.
- [16] J. D. Sterman, "Systems Thinking and Modeling for a Complex World," vol. 6, 2000.
- [17] J. Zhou, "Learn to Read Causal Loop Diagram," 2012. [Online]. Available: <https://systemsandus.com/2012/08/15/learn-to-read-clds/>. [Diakses 26 Februari 2017].
- [18] M. Minalisa, "Pembangkit Listrik Tenaga Biogas," 2011.
- [19] S. W. MP, "Pengertian Biogas dan Manfaat Biogas," pengertianpakar.com, 2008. [Online]. Available: <http://www.pengertianpakar.com/2015/07/pengertian-biogas-dan-manfaat-biogas.html>. [Diakses 26 Februari 2017].
- [20] Sridianti, "Pengertian Energi Biogas," sridianti.com, 3 April 2016. [Online]. Available: <http://www.sridianti.com/pengertian-energi-biogas.html>. [Diakses 12 Mei 2017].
- [21] S. Velmurugan, "Biogas Generation through Anaerobic Digestion Process," researchgate.net, Mei 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/262033577_fig2_Fig-4-Floating-drum-digester. [Diakses 13 Mei 2017].
- [22] energypedia, "Fixed-dome Biogas Plants," energypedia, 13 Januari 2016. [Online]. Available:

https://energypedia.info/wiki/Fixed-dome_Biogas_Plants.
[Diakses 13 Mei 2017].

- [23] P. P. (Persero), “PT PLN (Persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR,” dalam *STATISTIK 2015*, Jawa Timur, PT PLN (Persero), 2015.
- [24] E. P. J. Timur, “Ketersediaan Energi Biogas di Jawa Timur,” ESDM Provinsi Jawa Timur, Surabaya, 2016.
- [25] D. P. D. J. P. Darat, “Pengembangan Data Perhubungan Darat Provinsi Jawa Timur,” Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2009.
- [26] BMKG, “Kondisi Cuaca di Indonesia,” BMKG, 2013.
- [27] A. Hanif, “STUDI PEMANFAATAN BIOGAS SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK 10 KW KELOMPOK TANI MEKARSARI DESA DANDER BOJONEGORO MENUJU DESA MANDIRI ENERGI,” Andi Hanif, Surabaya, 2012.
- [28] PLN, “Statistik PLN 2013,” Jakarta, 2013.
- [29] B. Indonesia, “Inflation Report,” Bank Indonesia, April 2017.
[Online]. Available: <http://www.bi.go.id/en/moneter/inflasi/data/Default.aspx>.
[Diakses 26 Mei 2017].
- [30] B. Indonesia, “BI Rate,” Bank Indonesia, Juli 2016.
[Online]. Available: <http://www.bi.go.id/en/moneter/bi-rate/data/Default.aspx>. [Diakses 26 Mei 2017].

- [31] N. B. Raharjo, Interviewee, *Pembangkit Listrik Energi Biogas*. [Wawancara]. 5 April 2017.
- [32] Suyitno, A. Sujono dan Dharmanto, “Teknologi Biogas,” vol. I, pp. 1-109, 2010.
- [33] P. Rudi, Interviewee, *Kepala Bagian Energi*. [Wawancara]. April 2017.
- [34] P. Darat, “Kondisi Ketinggian di Provinsi Jawa Timur,” Perhubungan Darat, Jakarta, 2009.
- [35] D. S. N. & A. R. J., news.viva.co.id, 2014.
- [36] E. Indonesia, “Equipment Indonesia,” [Online]. Available: equipmentindonesiamagazine.com. [Diakses 7 Juni 2017].
- [37] Translate.com, “Topografi Letak Ketinggian di Jawa Timur,” Translate.com, 2017. [Online]. Available: <https://www.translate.com/english/22topografiletak-ketinggian-wilayah-di-jawa-timur-dari-permukaan-laut-terbagimenjadi-3-tiga/3502143>. [Diakses 6 Juni 2017].
- [38] Boediono, “Ekonomi Internasional,” BPFE, Yogyakarta, 2000.
- [39] A. Sanjaya, “Pengertian Suku Bunga dan Teori Faktor-faktor Yang Mempengaruhi,” landasanteori.com, 2015. [Online]. Available: <http://www.landasanteori.com/2015/07/pengertian-suku-bunga-dan-teori-faktor.html>. [Diakses 5 Juni 2017].
- [40] P. H. D. Prima, “Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (POME),” PT. Hexamitra Daya Prima, Jakarta.

- [41] W. D. Law A. M. & Kelton, "Simulation Modelling and Analysis," McGraw-Hill, New York, 2000.
- [42] B. Y., "Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics," *System Dynamics Review*, no. 12, pp. 183-210, 1996.
- [43] H. R., "Insentif Fiskal dan Instrument Pembiayaan untuk Pengembangan Energi Terbarukan dan Pengembangan Listrik Pedesaan," Jakarta, 2013.
- [44] B. Y, "Multiple Tests for Validation of System Dynamics Type of Simulation Models," *European Journal of Operation Research*, pp. 59-87.

LAMPIRAN A

Data Analisis Model Kondisi Eksisting (*Base Model*)

Tabel A.1 Data *base model* kelayakan infrastruktur

Tahun	Kelayakan Infrastruktur
2000	81.5453
2001	73.7744
2002	81.29
2003	81.6113
2004	75.8899
2005	83.9567
2006	80.0772
2007	76.2684
2008	77.3097
2009	63.4376
2010	76.9125
2011	88.3592
2012	68.9719
2013	80.8798
2014	68.82
2015	76.8826
2016	65.9908

Tabel A.2 Data *base model* kelayakan geografis

Tahun	Kelayakan Geografis
2000	55.7367
2001	54.0303
2002	44.7764
2003	67.7306
2004	36.4608
2005	65.2717
2006	71.315
2007	55.8053
2008	60.4538
2009	79.1391
2010	49.4186
2011	77.3292
2012	81.0312
2013	71.4881
2014	53.4027
2015	84.4348
2016	46.3608

Tabel A.3 Data *base model* kelayakan ekonomi

Tahun	Kelayakan Ekonomi
2000	81.1749
2001	95.113
2002	90.7635
2003	88.8348
2004	79.1205

Tahun	Kelayakan Ekonomi
2005	91.2823
2006	86.1432
2007	88.2817
2008	94.5475
2009	92.5406
2010	92.6639
2011	82.555
2012	84.3517
2013	84.8739
2014	83.6329
2015	89.8335
2016	84.4769

Tabel A.4 Data base model probabilitas

Tahun	Probabilitas Kesuksesan Penemuan
2000	70.639
2001	72.6708
2002	79.7912
2003	77.3665
2004	70.2598
2005	69.5141
2006	80.2308
2007	82.2251
2008	73.3422
2009	79.1711
2010	74.1324

Tahun	Probabilitas Kesuksesan Penemuan
2011	71.7315
2012	78.7341
2013	66.9682
2014	73.3051
2015	76.2815
2016	80.6688

Tabel A.5 Data *base model* kelayakan sumber daya manusia

Tahun	Kelayakan Sumber Daya Manusia
2000	23.6842
2001	26.3158
2002	28.9474
2003	31.5789
2004	34.2105
2005	36.8421
2006	39.4737
2007	42.1053
2008	44.7368
2009	47.3684
2010	50
2011	52.6316
2012	55.2632
2013	57.8947
2014	60.5263
2015	63.1579
2016	65.7895

Tabel A.6 Data *base model* probabilitas studi kelayakan

Tahun	Probabilitas Studi Kelayakan
2000	72.0908
2001	73.5629
2002	71.5539
2003	78.5983
2004	63.1855
2005	79.3685
2006	78.3867
2007	72.7173
2008	76.6626
2009	77.5887
2010	72.2683
2011	81.9203
2012	77.3371
2013	78.2898
2014	67.9323
2015	82.8798
2016	64.9534

Tabel A.7 Data *base model* potensi yang telah layak

Tahun	Potensi yang Telah Layak
2000	0
2001	0
2002	0
2003	0
2004	0

Tahun	Potensi yang Telah Layak
2005	0
2006	0
2007	0
2008	0
2009	0
2010	0
2011	1.13E+07
2012	1.05E+07
2013	1.12E+07
2014	1.01E+07
2015	1.10E+07
2016	1.01E+07

LAMPIRAN B

Data Uji Validasi

Tabel B.1 Data uji validasi pembangkitan acak suku bunga

Tahun	Pembangkitan Acak Suku Bunga
2000	6.75274
2001	6.41704
2002	7.40313
2003	5.94451
2004	6.63752
2005	7.46576
2006	7.40156
2007	6.98296
2008	6.44645
2009	6.53486
2010	7.21954
2011	6.3797
2012	6.24183
2013	6.68746
2014	6.39824
2015	7.13421
2016	6.5697

Tabel B.2 Data uji validasi pembangkitan acak suhu udara

Tahun	Pembangkitan Acak Suhu Udara
2000	28.4873
2001	27.0318

Tahun	Pembangkitan Acak Suhu Udara
2002	28.4576
2003	26.8902
2004	27.3961
2005	26.7999
2006	28.1307
2007	27.2144
2008	29.4297
2009	26.6339
2010	27.7869
2011	27.5106
2012	26.9515
2013	26.8014
2014	26.6834
2015	26.8334
2016	27.7777

Tabel B.3 Data uji validasi pembangkitan acak curah hujan

Tahun	Pembangkitan Acak Curah Hujan
2000	1129.18
2001	1478.31
2002	2268.06
2003	1777.48
2004	1675.83
2005	1745.97
2006	1570.24
2007	1601.48

2008	1642.05
2009	1892.76
2010	2280.63
2011	1226.24
2012	2093.48
2013	2094.52
2014	1737.25
2015	1901.98
2016	1613.14

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

Data Pengembangan Skenario

Tabel C.1 Data perbandingan pembangkitan acak jumlah kendaraan pengangkut

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Infrastruktur	Skenario Do Nothing
2000	278.65	278.65
2001	210.007	210.007
2002	276.395	276.395
2003	279.233	279.233
2004	228.694	228.694
2005	299.951	299.951
2006	265.682	265.682
2007	232.038	232.038
2008	241.236	241.236
2009	118.699	118.699
2010	237.727	237.727
2011	338.839	338.839
2012	167.585	167.585
2013	272.772	272.772
2014	166.243	166.243
2015	237.463	237.463
2016	141.252	141.252
2017	223	324.7
2018	234	129.654
2019	245	90.8666
2020	258	95.5736

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Infrastruktur	Skenario Do Nothing
2021	271	225.921
2022	284	185.56
2023	298	61.5403
2024	313	64.6321
2025	329	377.417

Tabel C.2 Data perbandingan kelayakan infrastruktur

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Infrastruktur	Skenario Do Nothing
2000	81.5453	81.5453
2001	73.7744	73.7744
2002	81.29	81.29
2003	81.6113	81.6113
2004	75.8899	75.8899
2005	83.9567	83.9567
2006	80.0772	80.0772
2007	76.2684	76.2684
2008	77.3097	77.3097
2009	63.4376	63.4376
2010	76.9125	76.9125
2011	88.3592	88.3592
2012	68.9719	68.9719
2013	80.8798	80.8798
2014	68.82	68.82
2015	76.8826	76.8826
2016	65.9908	65.9908

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Infrastruktur	Skenario Do Nothing
2017	75.2453	86.7585
2018	76.4906	64.6778
2019	77.7358	60.2868
2020	79.2076	60.8197
2021	80.6792	75.576
2022	82.1509	71.0068
2023	83.7359	56.9668
2024	85.434	57.3168
2025	87.2453	92.7265

Tabel C.3 Data perbandingan ketersediaan energi *biogas* di Jatim

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2000	1.10E+07	1.10E+07
2001	1.11E+07	1.11E+07
2002	1.01E+07	1.01E+07
2003	1.06E+07	1.06E+07
2004	9.59E+06	9.59E+06
2005	1.15E+07	1.15E+07
2006	9.94E+06	9.94E+06
2007	1.13E+07	1.13E+07
2008	1.05E+07	1.05E+07
2009	1.21E+07	1.21E+07
2010	1.20E+07	1.20E+07
2011	1.13E+07	1.13E+07
2012	1.05E+07	1.05E+07

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2013	1.12E+07	1.12E+07
2014	1.01E+07	1.01E+07
2015	1.10E+07	1.10E+07
2016	1.01E+07	1.01E+07
2017	1.19E+07	1.19E+07
2018	1.30E+07	1.10E+07
2019	1.44E+07	1.15E+07
2020	1.58E+07	1.19E+07
2021	1.74E+07	1.05E+07
2022	1.91E+07	1.18E+07
2023	2.10E+07	1.14E+07
2024	2.31E+07	1.02E+07
2025	2.54E+07	1.08E+07

Tabel C.4 Data perbandingan nilai investasi PLTBG

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2000	1.64E+13	1.64E+13
2001	1.64E+13	1.64E+13
2002	1.50E+13	1.50E+13
2003	1.58E+13	1.58E+13
2004	1.42E+13	1.42E+13
2005	1.71E+13	1.71E+13
2006	1.47E+13	1.47E+13
2007	1.68E+13	1.68E+13
2008	1.56E+13	1.56E+13

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2009	1.79E+13	1.79E+13
2010	1.77E+13	1.77E+13
2011	1.68E+13	1.68E+13
2012	1.55E+13	1.55E+13
2013	1.65E+13	1.65E+13
2014	1.50E+13	1.50E+13
2015	1.63E+13	1.63E+13
2016	1.49E+13	1.49E+13
2017	1.76E+13	1.77E+13
2018	1.93E+13	1.62E+13
2019	2.13E+13	1.71E+13
2020	2.34E+13	1.77E+13
2021	2.57E+13	1.56E+13
2022	2.83E+13	1.76E+13
2023	3.11E+13	1.69E+13
2024	3.42E+13	1.51E+13
2025	3.77E+13	1.61E+13

Tabel C.5 Data perbandingan *proceed* per tahun

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2000	6.95E+12	6.95E+12
2001	1.00E+13	1.00E+13
2002	6.13E+12	6.13E+12
2003	5.23E+12	5.23E+12
2004	8.60E+12	8.60E+12

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2005	6.33E+12	6.33E+12
2006	9.61E+12	9.61E+12
2007	9.80E+12	9.80E+12
2008	7.19E+12	7.19E+12
2009	7.94E+12	7.94E+12
2010	1.03E+13	1.03E+13
2011	9.22E+12	9.22E+12
2012	1.13E+13	1.13E+13
2013	7.70E+12	7.70E+12
2014	4.82E+12	4.82E+12
2015	7.90E+12	7.90E+12
2016	4.53E+12	4.53E+12
2017	7.87E+12	7.93E+12
2018	1.01E+13	8.47E+12
2019	9.87E+12	7.94E+12
2020	9.80E+12	7.41E+12
2021	1.21E+13	7.36E+12
2022	1.85E+13	1.15E+13
2023	1.35E+13	7.31E+12
2024	2.55E+13	8.58E+12
2025	2.03E+13	5.30E+12

Tabel C.6 Data perbandingan *payback period*

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2000	2.35489	2.35489
2001	1.63896	1.63896
2002	2.45056	2.45056
2003	3.01941	3.01941
2004	1.65248	1.65248
2005	2.69894	2.69894
2006	1.53138	1.53138
2007	1.71043	1.71043
2008	2.16764	2.16764
2009	2.25966	2.25966
2010	1.72843	1.72843
2011	1.82048	1.82048
2012	1.36651	1.36651
2013	2.14764	2.14764
2014	3.11201	3.11201
2015	2.06014	2.06014
2016	3.29608	3.29608
2017	2.23244	2.23244
2018	1.91663	1.91663
2019	2.15496	2.15496
2020	2.38733	2.38733
2021	2.12338	2.12338
2022	1.52679	1.52679
2023	2.31054	2.31054
2024	1.3417	1.76097

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2025	1.85379	3.02976

Tabel C.7 Data perbandingan kelayakan ekonomi

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2000	81.1749	81.1749
2001	95.113	95.113
2002	90.7635	90.7635
2003	88.8348	88.8348
2004	79.1205	79.1205
2005	91.2823	91.2823
2006	86.1432	86.1432
2007	88.2817	88.2817
2008	94.5475	94.5475
2009	92.5406	92.5406
2010	92.6639	92.6639
2011	82.555	82.555
2012	84.3517	84.3517
2013	84.8739	84.8739
2014	83.6329	83.6329
2015	89.8335	89.8335
2016	84.4769	84.4769
2017	91.7047	91.3199
2018	87.4389	90.8925
2019	90.806	86.1507
2020	90.8783	90.6927

Tahun	Skenario Peningkatan Kelayakan Ekonomi	Skenario Do Nothing
2021	89.9165	89.0317
2022	89.019	87.9275
2023	90.4469	89.9178
2024	78.6775	79.9752
2025	91.3954	90.3273

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Banjarbaru pada tanggal 09 Februari 1995, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan *formal* yaitu: SDN Candimulyo 1 Jombang lulus pada tahun 2007, SMPN 2 Jombang lulus pada tahun 2010, dan SMAN 2 Jombang yang lulus pada tahun 2013 dan meneruskan pendidikan di Jurusan Sistem Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun yang sama dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 5213100023. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dan selalu tertarik mengikuti organisasi kemahasiswaan dibuktikan dengan pernah menjadi Ketua Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi ITS periode 2015/2016. Penulis juga pernah mendapatkan beberapa prestasi akademik maupun nonakademik seperti Menjadi delegasi ITS ke *University of Malaya* pada tahun 2015, Juara Regional *Writing Competition* Beswan Djarum 2016, Juara 1 *Nutrifood Leadership Awards* 2016, Juara 2 *Mobile Apps Development Competition* VOCOMFEST 2017, dan Menjadi delegasi YOUCAN INDONESIA ke Kathmandu, Nepal pada tahun 2017.

Pada tahun keempat perkuliahan, penulis melakukan kerja praktik di PT. Pertamina EP Jakarta Selatan dan PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk untuk belajar dan memahami bagaimana kehidupan di dunia kerja sesungguhnya. Penulis dapat dihubungi melalui email nandapujinugroho@gmail.com